



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학 박사 학위논문

치과보철 치료에 대한
공유 의사결정 지원 시스템의 개발

2013년 2월

서울대학교 대학원

치 의학과 의료경영과정보학 전공

박 선 규

치과보철 치료에 대한 공유 의사결정 지원 시스템의 개발

지도교수 김 명 기

이 논문을 치의학 박사학위논문으로 제출함

2012년 10월

서울대학교 대학원

치위학과 의료경영과정보학 전공

박 선 규

박선규의 박사학위논문을 인준함

2012년 12월

위 원 장 김 홍 기 (인)

부 위 원 장 김 명 기 (인)

위 원 이 재 일 (인)

위 원 이 승 표 (인)

위 원 신 호 성 (인)

치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템의 개발

공유의사결정 (Shared decision making)은 의사의 의학적인 근거와 환자의 선호도를 상호참조하여, 치료에 대한 의사결정에 환자를 참여시키려는 접근법이다. 이는 환자중심 진료의 윤리성뿐만 아니라, 의사결정 과정에서의 질적인 향상을 가져온다. 이런 접근법은 비교적 활발히 연구되었으나, 실제로 치과 임상 환경에서 사용할 수 있는 도구는 거의 개발되지 않았다. 이에 본 연구는 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원시스템을 제안하고자 한다. 이 시스템은 치료 방법을 결정하는데 요구되는 임상적인 지식을 온톨로지 기술을 기반으로 추론하여, 공유의사결정의 토대가 되는 임상적인 대안들을 제시한다. 그 대안들 중에서 최종 의사결정을 내리기 위해 환자의 선호도를 중요하게 고려하였고, 우선순위 결정을 위해서 AHP (Analytic hierarchy process) 방법을 이용하였다. 이 시스템은 치과보철 치료에 대한 환자 선호도에 따른 근거중심의 치료 대안들을 시각적으로 보여줄 수 있도록 웹 어플리케이션의 형태로 개발하였다. 이는 의사와 환자간의 공유의사결정을 위한 상호작용의 토대가 될 수 있으며, 환자에게 적합한 치료방법을 결정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

.....

주요어 : 공유의사결정, 온톨로지, AHP, 치과보철 치료

학 번 : 2004-22647

목차

1. 서론.....	1
1.1. 연구의 필요성.....	1
1.2. 연구의 목적.....	4
1.3. 연구 개발의 과정.....	5
1.4. 논문의 개요.....	6
2. 연구 배경.....	8
2.1. 임상 의사결정 지원 시스템.....	8
2.2. 공유의사결정 지원 시스템.....	11
2.2.1. 온톨로지.....	14
2.2.2. AHP (Analytic Hierarchy Process).....	19
3. 연구 방법.....	24
3.1. 시스템의 설계.....	24
3.2. 온톨로지 디자인.....	26
3.2.1. 온톨로지 개발 과정.....	26
3.2.2. 치과보철 치료분야에서의 온톨로지의 기초.....	28
3.2.3. 질병-치료-해부학적 개념의 상호적 연결.....	30
3.2.4. 개념 표현.....	40
3.2.5. 요약.....	52
3.3. AHP 적용 과정.....	56

3.4. 구현.....	62
4. 연구 결과.....	65
4.1. 온톨로지의 일관성 분석.....	65
4.2. 임상 시나리오.....	67
4.2.1. 임상 시나리오 1.....	67
4.2.2. 임상 시나리오 2.....	71
5. 고찰.....	75
6. 결론.....	81
참고문헌.....	82
부록.....	91

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

환자와 의사는 만족스런 치료 결과를 얻기 위해 다양한 의사소통을 한다. 환자가 자신의 불편감을 의사에게 호소하면 의사는 환자의 의학적 증상에 따라 최선의 치료 방법에 대해 설명해주고 환자는 이에 따르게 된다. 이런 전통적인 방식에서는 환자가 의사의 지시에 따르는 한 방향의 의사소통을 하게 된다. 일방적인 의사소통은 최근 사회, 문화, 경제적 변화와 맞물려 변화하게 되었다. 환자는 진료비가 부담되어 의사에게 진료의 질에 상관없이 저렴한 치료대안은 없는지 물어볼 수도 있고, 혹은 진료비에 상관없이 부작용이 가장 적은 치료대안을 요구할 수도 있다. 결국 환자 선호도의 차이에 따라 치료 방향은 의사의 임상적 견해와 크게 다를 수 있다. 이렇듯 환자와 의사간의 의견 차이를 극복하려면 쌍방향의 의사소통을 할 필요가 있다. 환자와 의사간의 효과적인 의사소통을 돕는 방편으로 공유의사결정을 이용할 수 있다.

임상에서 공유의사결정 (shared decision making)이란 의사의 의학적 근거와 환자 선호도를 상호참조하여, 치료에 대한 의사결정에 환자가 참여하는 행위를 뜻한다 [1]. 여기서는 환자의 의학적 문제를 해결하기 위한 여러 치료 방법들에 대한 모든 근거와 정보를 제공하고, 환자 선호도에 따라 가장 적합한 치료 대안들 중의 하나를 선택하는 것이다. 공유의사결정은 두가지 장점이 있다. 먼저 의사 측면에서는 치료 방법에 대한 모든 위험요인과 혜택을 환자에게 고지함으로써 진료의 윤리성을 보장하고, 진료의 질적인 향상을 가져온다 [2]. 환자 측면에서는 환자의 만족도와 자아존중감을 증가시킬 수 있다

[2,3]. 이와 같은 장점에도 불구하고, 의사는 실제 임상현장에서 공유의사결정을 널리 실행하지 못하고 있다.

임상 현장에서 공유의사결정의 실행을 가로막는 요인은 다음과 같다. 의사의 공유의사결정에 대한 부정적인 태도, 미숙한 의사소통 능력, 복잡한 과정, 바쁜 임상현장이다 [4]. 의사는 일반적으로 진단과 치료에 대해 다소 권위적인 태도를 보이며, 환자 증상에 따른 모든 치료 대안들을 나열하는 과정을 복잡하게 생각한다. 또한, 환자와 쌍방향의 의사소통에 서투르고, 환자 선호도를 파악하고 충분히 의사소통을 할 여유가 없다. 이러한 여러 장애물을 극복하기 위한 방법으로 컴퓨터 기술을 활용하면 효과적일 것이다.

컴퓨터 기술을 활용한 임상 의사결정 지원 시스템이 공유의사결정의 실행을 도와줄 수 있다 [5]. 이 시스템은 환자의 데이터를 분석하여 진단, 치료, 예방과 같은 임상에서 부딪히는 모든 문제들에 관한 의사결정을 도와준다. 이는 의학적 근거에 손쉽게 접근할 수 있게하여 의사의 부담을 줄여줄 수 있고, 다양한 치료 대안들의 장점과 단점을 파악하기 용이하게 하여 의사의 시간을 절약해 줄 수 있다. 환자 선호도를 파악하고 분석할 수 있는 도구를 제공하여 의사의 미숙한 의사소통 기술을 대신할 수 있고 신속한 처리가 가능하게 할 수 있다. 이처럼, 임상 의사결정 지원 시스템은 공유의사결정에 큰 기여를 할 수 있다.

공유의사결정에 효과적인 임상 의사결정 시스템이 되기 위해서는 두가지 조건을 만족해야 한다. 첫째는 의사의 방대하고 복잡한 임상 도메인 지식을 체계적이고 관리 가능한 형태로 만들 수 있어야 한다 [6]. 둘째는 환자 선호도를 파악하고 이를 임상 현장에 적용할 수 있어야 한다 [7]. 첫번째 조건을 만족시키기 위해서는 재사용가능하고 시스템 독립적인 도메인 지식 체계 또는 구

조적 틀이 필요하다. 이는 지식 획득 및 관리에 요구되는 노력을 최소화시켜줄 수 있을 것이다 [8]. 두번째 조건을 만족시키기 위해서는 서로 다른 환자 선호도를 측정하고 분석할 수 있는 방법이 필요하다.

임상 도메인 지식 체계를 구축하기 위한 하나의 방법으로 온톨로지 기술이 있다. 온톨로지란 지식을 명세화하는 것을 뜻하며, 특히 의료정보학 분야에서 활발히 연구되고 있는 분야이다. 임상 지식 체계를 구축한 다른 예로 의료 용어 시스템이 있으나, 단순한 용어 목록이거나 트리 형태인 경우가 많아 지식의 표현력이 적다. 어떤 시스템이 좀 더 표현력이 큰 지식을 요구하는 경우에는 기존의 의료 용어 시스템만으로는 부족하게 된다. 온톨로지는 다양한 로직을 기반으로 개념을 정교하게 표현할 수 있다. 실제 온톨로지를 이용한 임상 의사결정 지원 시스템에 대한 연구뿐만 아니라 생명정보학 분야에서 복잡한 유전자의 식별에도 많은 연구가 이루어지고 있다. 그럼에도 불구하고 치과 분야의 온톨로지를 개발하고 이를 시스템에 적용한 연구는 거의 찾아보기 힘들다.

환자 선호도의 측정과 분석에 유용한 방법으로 AHP (analytic hierarchy process) 방법이 있다. 이 분석 방법은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 여러 요소간의 쌍대비교 분석을 통하여 의사결정자의 지식, 경험 및 직관을 포착하는 의사결정 방법이다 [9]. 이 방법은 분석 과정이 간단하고, 정량적 요소와 정성적 요소를 동시에 고려하기에 용이하다. 여러 기업에서 투자 계획의 타당성 검토와 전략계획 수립 시에 활용하고 있다. 의료 분야에서는 개념화하기 어려운 환자 선호도를 계층화하여 이끌어내어 비교 분석하는 연구 [10]가 최근 이루어졌으나 아직 치과보철 환자 선호도의 측정과 분석에 활용한 사례는 없었다.

이 논문은 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템을 제안하고자 한다. 이 시스템은 치과보철 치료에 관련한 임상지식을 획득, 관리하기 위해 기계가 이해할 수 있는 형태인 온톨로지를 이용한다. 이 시스템은 AHP 방법을 이용하여 환자 선호도를 기반으로 한 치과보철 치료 대안들에 대한 우선순위를 도출한다. 이는 환자와 의사 간의 공유의사 결정을 위한 도구로서의 역할을 수행할 수 있을 것이다.

1.2. 연구의 목적

이 연구의 목적은 환자와 의사간의 의사소통을 도와 치과보철 치료에 대한 공유의사결정을 내릴 수 있도록 지원하는데 있다. 공유의사결정을 내리기 위해 의사의 지식을 체계화하고, 환자 선호도를 분석하는 도구를 제공하고자 한다. 세부적인 목적은 다음과 같다.

- (1) 의사의 지식을 체계화하기 위하여, 치과보철 치료에 필요한 개념들을 의미있게 연결한 온톨로지를 개발한다.
- (2) 환자 선호도를 분석하기 위하여, 치과보철 치료에 대한 가치와 선호도를 쌍대 비교하여 측정하고 치료 대안에 대한 중요도를 산출할 수 있는 AHP 방법에 기반한 도구를 개발한다.
- (3) 환자에게 적합한 치과보철 치료에 대한 의사결정을 내리기 위하여, 체계화된 임상 지식과 환자 선호도를 통합하여 분석할 수 있는 시스템을 개발한다.

1.3. 연구 개발의 과정

이 연구의 목적을 달성하기 위해서, 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템을 개발하는 세부적인 단계는 다음과 같다.

- (1) 치과보철 치료 계획을 세우기 위한 도메인 지식을 탐색한다.
- (2) 질병의 양태와 구강내의 위치에 따른 치과보철 치료 개념들을 계층화하여 분류한다.
- (3) 치과보철 치료 대안들을 나열하기 위해 필요한 외부지식들을 합성한다. 기존에 개발된 온톨로지 또는 용어를 이용하며, 연구의 목적을 달성하는데 충분히 포괄적인 지식 베이스가 되도록 한다. 그럼으로써, 재사용성과 수정 관리가 용이해진다.
- (4) 치과보철 치료에 대한 의사결정에 필요한 지식을 온톨로지의 형태로 모델링한다. 이 단계에서, OWL(Web Ontology Language)이 사용된다. 특히, 이 단계에서 치과보철 치료의 특성을 나타낼 수 있는 data 속성 (data-type property)이 만들어진다. 이 속성은 환자의 가치와 선호도를 측정하기 위한 기준이 될 것이다. 예를 들어, 치과보철 치료의 심미성, 수명, 내원 횟수, 가격 등이 data 속성으로 각 치과보철 치료방법 클래스에 포함될 것이다.
- (5) 질병, 치료 방법, 치아 해부학적 구조 개념을 기능적으로 연결한다. 이 3가지 개념은 OBO RO (OBO Relation Ontology)를 이용하여 의미론적으로 연결한다.

(6) 위의 과정을 통해서 생성된 온톨로지를 리뷰한다. 치의학적 추론과정에서 살펴보았을 때 적합한 치과보철치료 대안들을 도출해내는지 살펴보는 과정이다. 더불어, 온톨로지의 내부 일관성 검사도 실행한다.

(7) AHP 방법을 활용할 수 있는 기반을 조성한다. 치과보철 치료에 대한 의사결정 문제를 계층화하고, 치과보철 치료대안들 간의 쌍대비교하는 과정이다. 이 쌍대비교 값은 (4) 단계에서 구성한 치과보철 치료 클래스의 data 속성에 명시하여 공유의사결정 지원 시스템에서 AHP 방법을 활용할 수 있도록 한다.

(8) 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템을 개발한다. 환자의 가치와 선호도를 고려한 근거중심의 치료대안을 시각적으로 제시할 수 있도록 구축한다. 의사의 지식을 체계화한 온톨로지와 환자 선호도를 분석할 수 있는 AHP 방법을 통합하여 추론할 수 있는 시스템을 개발한다. 환자와 의사는 이 시스템에서 도출된 치료대안들을 보면서 상호 의논하여 최종 치료방법을 결정할 수 있다.

1.4. 논문의 개요

이 논문은 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템을 개발하기 위한 연구의 배경, 개발 단계, 평가에 대한 내용을 포함하고 있다. 이 논문의 세부적인 구성은 다음과 같다.

우선 2장에서는, 기존 문헌을 검토하고, 관련 연구를 조사한다. 임상 의사결정 지원시스템, 공유의사결정의 중요성, 온톨로지의 개념 및 활용에 관

한 기존문헌을 검토하고, 치과분야에서 이를 적용한 연구를 조사하여 참조한다. AHP 방법의 절차에 대한 설명도 포함된다.

3장에서는, 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템 구축의 과정을 설명한다. 구현될 시스템의 기능적인 명세를 기술하고, 이 시스템에서 이용한 온톨로지의 구축 과정에 대해서 자세히 설명한다. 그리고, 대안이 다양하게 존재할 경우 다면적 평가를 통해 의사결정을 지원하는 방법인 AHP를 이 시스템에서 활용하고 있는 과정을 단계별로 설명한다.

4장에서는, 구축된 시스템을 2가지 방향으로 평가한다: 1) 온톨로지의 내부 일관성 검사; 2) 임상 시나리오 평가. 5장에서는, 이 연구가 가지는 한계점과 시사점에 대해서 토의한다. 6장에서는, 이 연구의 결론을 서술하고, 앞으로의 연구 방향에 대해서 짚어본다.

2. 연구 배경

치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템을 개발하기 위한 연구의 배경을 제시하고자 한다. 우선 치과보철 치료와 같은 임상 의사결정을 지원하는 시스템을 소개하고, 다음은 임상 의사결정 지원 시스템의 한계를 극복하기 위한 대안으로 공유의사결정 지원 시스템을 소개하고자 한다. 세부적으로 의사의 측면에서 임상 지식을 체계화할 수 있는 도구인 온톨로지의 이론적 배경과 관련 연구 동향을 파악하고, 환자의 측면에서 선호도를 측정하여 분석할 수 있는 도구인 AHP 방법을 설명하고자 한다.

2.1. 임상 의사결정 지원 시스템

임상 의사결정 지원 시스템 (clinical decision support system)이란 임상가의 의사결정 작업을 돕도록 디자인된 어플리케이션을 일컫는다 [11]. 환자의 데이터를 분석하여 진단, 치료, 예방과 같은 임상에서 부딪히는 모든 문제들에 관한 의사결정을 도와주는 것이다.

초기의 임상 의사결정 지원 시스템은 의사의 진단과 치료를 지원하는 데 국한되어 있었다 [12]. MYCIN이 초기 임상 의사결정 지원 시스템의 대표적인 예이다. MYCIN은 감염성 질병을 진단하고 항생제를 처방하는 임상 의사결정을 도와주는 지식 기반의 대화형 프로그램이다. 이 프로그램은 항생제 처방에 관련한 방대한 지식을 규칙 기반으로 추론한다. 방법론적인 측면에서 인공지능 분야에 큰 기여를 했음에도 불구하고, 임상 현장에서 널리 쓰이지 못했다. 감염성 질병이란 좁은 분야에만 적용되어 있었고, 규칙 기반 추론이 가지는 경직성 (rigidity) 때문이었다 [11]. 이런 단점을 극복하고자 다양한 임상

분야에 적용하고, 비지식 기반¹을 포함한 여러 다른 방법론을 연구하기 시작했다.

임상 의사결정 지원 시스템에 관한 연구는 MYCIN 이후 다양한 분야에서 여러 방법론으로 이루어졌다. Greenes는 주요 연구 분야를 방법론 측면에서 다음과 같이 분류하였다 [13]: 임상 정보 검색 (information retrieval); 미리 알림과 경고 (reminders & alerts); 진단, 치료결과의 예측과 예후 추정; 임상흐름관리 (clinical workflow control); 의료 이미지 분석과 신호 처리; 구조화된 환자 데이터 입력과 출력 (structured data entry & report). 단순히 투약시의 주의사항을 미리 알려주는 지식 기반 방법론의 연구에서부터 치료의 예후를 기계학습으로 추정하는 비지식 기반 방법론의 연구까지 다양하다. 여러 측면에서 임상 의사결정 지원 시스템이 연구되고 있지만, 치과 분야에 한정된 연구는 많지 않다.

White의 종설 논문 (review article)에서는 치과 분야의 임상 의사결정 지원 시스템에 관한 연구 논문의 숫자가 겨우 30개를 넘는 것으로 보고하였다 [14]. 이 논문에서는 치과 임상 의사결정 지원 시스템을 7개의 분야로 분류하였다: 치과 외상과 응급상황; 구강안면 통증; 구강 내과; 구강 방사선; 치과 교정; 치수내 진단; 치과 보존학 분야. 지식 표현 방법론에 따라서도 치과 시스템을 4가지로 분류하였다: 알고리즘; 통계학; 규칙 기반; 영상 처리 시스템. 또한, 이 논문은 치과의료의 질적인 보장 (quality assurance), 치료 계획의 지원, 환자 데이터 분석 등의 분야에 관련한 시스템 개발 연구가 필요하고, 치과

¹비지식 기반 방법론이란 기계 학습 또는 통계적 기법으로 기존 환자의 데이터를 분석하여 의사 결정에 도움을 주는 것을 의미한다. 주로 치료 결과의 예측이나 영상 이미지 판독과 같은 영역에서 활용되고 있다.

임상 의사결정 지원 시스템은 실제 의료 현장과 통합된 형태로 개발할 필요가 있다고 제안하였다.

구체적으로 치과분야에 치료계획의 수립과 치료결과의 예측 등에 관한 임상 의사결정 지원 시스템을 적용한 사례는 다음과 같다. 우선 치료계획에 관한 연구는 신경망 기법 (neural network)을 적용하여 하악 제3대구치의 치료 계획을 지원하는 시스템 [15]과 Fuzzy 로직을 이용하여 파절된 치아의 치료계획을 도와주는 시스템 [16]을 개발한 연구가 있었다. 예측에 관한 연구는 데이터 마이닝 기법을 활용하여 치아 우식증의 발현을 예측하는 시스템 [17]과 베이지안 확률 이론을 이용하여 치아 신경치료 결과를 평가 및 예측하기 위한 시스템 [18]에 관한 연구가 있었다. 그밖에, SVM (support vector machine)분류 기법을 치과 파노라마 방사선 사진에 적용하여 골다공증을 진단하는 시스템 [19]과 의사결정나무 분석을 이용하여 두정부 암 환자의 치아 관리에 관한 임상진료지침을 개발하는 시스템 [20]에 관한 연구가 있었다. 대부분의 기존 연구는 치과임상의 제한된 분야에 적용하여 범용성의 한계가 있고, 치과의사의 의학적 진단이나 치료 결정을 지원하는데 국한되어 있다.

치과 임상 의사결정 지원 시스템이 치과의사에게 잠재적인 혜택을 줌에도 불구하고, 이 시스템이 실제 임상 현장에서 널리 사용되지 못하고 있다. 기존의 고안된 시스템들이 제한된 분야에만 적용이 가능한 형태이기 때문이다. 예를 들어, 하악 제3대구치의 발치 여부에 관한 의사결정을 지원하는 시스템은 모든 환자에게 적용할 수 없고, 치과 분야에서 비교적 진료 빈도가 낮다. 치과보철 치료처럼 범용성이 비교적 높은 분야에 관한 연구가 필요하다. 두번째는 기존에 제안된 시스템은 치과의사의 지식 사용에 국한되어 있기 때문이다. 환자의 사회, 경제적 요구를 고려하지 않고, 치과의사의 임상적 추론만 지원하는 시스템은 의료 현장에서 실용적으로 사용하는데 한계가 있다. 예를 들

어, 경제적인 문제를 안고 있는 환자에게 임상적으로 뛰어나지만 비싼 치과보철 치료방법만을 제시할 수는 없을 것이다. 결국 임상지식 기반의 추론과 환자의 요구를 함께 고려하여, 환자와 의사 간의 쌍방향 의사소통을 돕는 시스템 설계가 필요하다.

2.2. 공유의사결정 지원 시스템

환자와 의사는 지식과 정보를 나눔으로써 상호간의 합의가 된 치료 결정을 내린다. 이러한 의사결정은 환자-의사 관계에 좌우된다. 환자와 의사의 관계는 크게 세가지 모델²로 나눌 수 있다 [21]: 능동적-수동적 (activity-passivity); 지도-협조 (guidance-cooperation); 상호참여 (mutual participation). 질병의 양태가 급성이거나 응급하지 않은 경우, 상호참여 모델을 가장 바람직한 환자-의사 모델로 간주하고 있다 [22].

임상 현장에서 공유의사결정 (shared decision making)은 상호참여 모델을 기반으로 한다. 의학적인 근거와 환자 선호도를 함께 고려함으로써, 의사와 환자가 치료에 대한 의사결정에 동참하는 것이다 [1]. 이는 환자와 의사로 하여금 적합한 치료 결정에 대한 상호적인 동의에 이르도록 해준다 [23]. 전통적인 의사결정 모델에서는 의사가 도메인 전문가로서 환자의 바람이나 선호도를 대신 고려하여 임상 의사결정을 내린다. 상대적으로, 공유의사결정에서는 의사의 임상적 지식과 환자의 선호도를 함께 고려하여 환자에게 가장 적합한

² 능동적-수동적 모델은 상호작용이 없으며, 의사가 불균형적 관계를 지배하는 관계를 뜻한다. 이 모델은 환자가 의식이 없는 응급상태를 위한 역할 모델이다. 지도-협조 모델은 환자가 의식을 가지고 의사의 지도에 협조할 수 있는 급성감염 상태를 위한 역할 모델이며, 부모-자녀의 관계와 흡사하다. 마지막으로, 상호참여 모델은 성인-성인의 관계와 흡사하며, 이는 만성질환 상태를 위한 역할 모델이다. 이 모델에서는 의사와 환자가 상호 참여적이지 않으면 치료가 발생하지 않는다.

임상 의사결정을 내리게 된다. 환자는 선호도에 따른 치료방법의 장단점을 충분히 설명들을 수 있고, 치료결정 과정에 능동적으로 참여하여 자아존중감이 증가할 수 있다. 의사 측면에서는 진료의 윤리성을 보장할 수 있고, 치료 결과의 향상³을 기대할 수 있다 [3].

공유 의사결정을 실제 임상 환경에서 구현한 연구는 다음과 같다. Levine 등은 유방암으로 인한 절제 수술후 보조 항암요법(adjuvant chemotherapy)을 실시하는 환자를 대상으로 공유 의사결정을 내리기 위한 도구를 고안하였다 [24]. 파이차트를 이용하여 보조 항암요법을 시행하는 경우와 하지 않는 경우에 대한 암의 재발 확률을 시각화하여 환자와 치료 방향에 대해 의논하였다. Whelan 등은 Levine 등이 고안한 도구를 이용하여 환자를 두 그룹으로 나누어 비교해보았다 [25]. 이 도구를 이용한 그룹이 이용하지 않은 그룹보다 보조 항암요법의 한계에 대한 높은 이해도를 보이고, 도구를 매개로 한 쌍방향 의사소통에 만족했다고 보고하였다. 연계된 두 연구는 보조적인 도구를 이용하면 환자와 의사 간의 만족스런 의사소통이 가능함을 보여주고 있다.

Murray 등은 전립선비대증의 치료에 대한 공유 의사결정에 대화형 멀티미디어 도구를 이용하였다 [26]. 환자에게 전립선비대증의 치료방법의 종류와 각 치료방법의 위험 요인과 혜택 요인에 관해 설명하는 45 - 60분 가량의 선택형 비디오를 보여주었다. 멀티미디어 도구를 활용한 환자 그룹이 그렇지 않은 그룹보다 의사결정 갈등 (decisional conflict)이 적었고, 의사결정 과정에 능동적으로 참여함을 보고하였다. 이 연구는 멀티미디어를 활용함으로써

³ Crawford 등의 systematic review 논문 [3]에서는 치료 결과의 향상을 일반화하기는 어렵다고 밝히고 있다. 공유 의사결정을 내리는 질병의 특성에 따라 다를 수 있고, 고찰한 기존 연구 디자인이 사례 연구에 국한된 경우가 있어서다.

Levine의 간단한 도구에 비해 환자에게 임상적 근거를 설명하는데 용이하였으나, 상대적으로 공유의사결정 과정이 길어지므로 복잡하고 바쁜 임상 환경에서 적합하지 못하다는 한계를 보인다.

치과분야에서는, Johnson 등이 근관치료를 요하는 환자에 대한 공유 의사결정 도구를 고안하였다 [27]. 이 도구는 환자가 치수염을 동반한 치아를 치료하길 원할 때, 그 치료의 대안으로 다섯가지를 제시하고 각각의 혜택과 위험 요인, 비용과 예상되는 임상 결과에 관하여 기술한 팜플렛 형태이다. 이 도구가 제시한 치료의 다섯가지 대안은 다음과 같다: 치료하지 않음; 근관치료; 발치만 시행; 발치후 가철성 국소의치; 발치후 치과 임플란트. 이는 고정된 형태로 제공되기 때문에 업데이트되는 최신 임상 근거를 빠르게 받아들이지 못하는 한계를 보인다. 임상 근거에 관한 측면만을 기술하여 환자의 선호도를 효과적으로 확인하고 분석하지 못한다는 제한점이 있다.

공유의사결정을 지원하는 도구에 관한 여러 연구가 있지만, 실제 의료 현장에서 일반적으로 실행되지 못하고 있다. Say와 Thomson의 연구에서는 실행을 가로막는 장애물을 다섯가지로 설명하였다 [28]: 1) 환자 선호도는 근거 중심 임상진료지침의 선호 방향과 다를 수 있다; 2) 어떤 의사들은 환자보다 의사결정에 관한 권한이 우월한 상태를 원할 수 있다; 3) 의사에 따라 공유 의사결정을 위한 의사소통에 미숙할 수 있다; 4) 어떤 환자들은 자신의 선호도를 공유하길 주저할 수 있다; 5) 비전문가인 환자의 지식이 의사의 지식이나 용어와 일치하지 않을 수 있다. Elwyn 등은 공유의사결정이 실제 의료 현장에서 활발히 일어나기 위해 필요한 조건 세가지를 제안하였다 [5]: 1) 환자와 의사가 임상 근거에 손쉽게 접근이 가능할 것; 2) 여러 치료대안들의 장점과 단점을 어떻게 따져봐야 하는지에 대해 안내할 것; 3) 환자의 참여를 독려하는

임상 분위기를 조성할 것. 두 연구를 종합해보면, 공유의사결정의 실행은 참여하는 문화와 적절한 도구를 필요로 하는 것이다.

공유의사결정을 지원하는 도구를 개발하기 위해 기존의 임상적인 비교만을 하는 방법에 대한 대안으로, 임상지식의 추론과 환자 선호도의 분석을 통합하는 시스템이 필요하다. Elwyn 등 [5]이 제안한 임상 근거와 지식에 손쉽게 접근가능하고, 치료의 장단점을 파악하려면, 임상 지식을 체계화할 필요가 있다. Say와 Thomson [28]이 제시한 의사의 미숙한 의사소통능력과 환자 선호도 파악의 어려움을 극복하려면, 환자 선호도를 측정하고 분석해주는 방법론이 필요하다. 임상 지식을 체계화하는 온톨로지 기술과 환자 선호도를 측정 및 분석할 수 있는 AHP 방법이 이 연구의 토대가 된다. 먼저 2.2.1.절에서는 온톨로지에 대한 소개, 활용 분야에 관련한 기존 연구, 최근 널리 쓰이고 있는 OWL (web ontology language)을 소개하고자 한다. 2.2.2.절에서는 AHP 방법에 대한 소개와 분석 과정을 설명하고, 의학 분야에 AHP 방법을 적용한 연구를 소개하고자 한다.

2.2.1. 온톨로지

“온톨로지”라는 용어는 원래 철학에서 존재학이라고 하는 학문에서 사용되었다. 컴퓨터 공학과 정보 과학에서는 온톨로지를 어떤 도메인 지식을 모델링하기 위한 목적으로 고안된 산물로 정의하고 있다. 주로 인용되는 온톨로지에 대한 정의는 '어떤 관심 분야를 개념화하기 위해 명시적으로 정형화한 명세서 (An ontology is an explicit and formal specification of a conceptualisation of a domain of interest.)' 이다 [8]. 온톨로지는 지식을 체계적인 방법으로 구축하는 방법이라고 할 수 있다.

방대하고 복잡한 지식을 관리할 필요가 있는 생물의학 분야에서 의사와 관련 연구자를 위한 온톨로지 개발이 활발히 일어나고 있다. 이 중에서 가장 주목할 만한 연구는 GO (Gene Ontology) 프로젝트 [29] 이다. 이 프로젝트의 목적은 다양한 종 (species)의 유전자와 유전자 산물의 표현을 표준화하는데 있다. 또 다른 예로 FMA (Foundational Model of Anatomy) 온톨로지라는 참조 해부학 온톨로지가 있다 [30]. 이는 세포 수준에서부터 장기에 이르기까지 인체의 포괄적인 해부학 구조에 대한 개념과 그 관계를 정의하고 있다.

치의학 분야에서 온톨로지는 특정 도메인에 한정하여 개발되었다. Tooth missing ontology [31], tooth positional ontology [32], dental restoration ontology [33,34], Saliva ontology [35] orofacial pain ontology [36], temporomandibular joint ontology [37] 등이 현재까지 개발되거나 개발 중인 온톨로지들이다. 이들 중 tooth missing ontology, tooth positional ontology, dental restoration ontology는 저자의 선행 연구로 개발한 온톨로지이다. 이들은 각각 치아의 상실, 치아의 위치관계, 치과 보철물에 관한 임상 지식을 형식화 및 구체화할 목적으로 개발하였다. Saliva ontology, orofacial pain ontology, temporomandibular joint ontology는 타액의 생체지표 (biomarker), 구강 악안면 통증, 턱관절 운동을 각각 표현하였다. 치의학 온톨로지의 개발은 의학 분야에 비해 상대적으로 관심이 적고 협소한 분야를 다루고 있으므로, 치과보철 치료 분야를 포함한 다양한 분야에 대한 온톨로지 개발이 필요하다.

Smart 와 Sadraie는 치의학 온톨로지가 사용되고 있는 분야와 활용 가능한 분야를 크게 여섯가지로 나누었다 [38]. 구체적으로, 데이터 분석과 지식 발견, 치의학 교육과 훈련, 법적인 보호 및 준수, 근거 중심 치의학, 정보 교환과 통합, 임상 의사결정 지원 시스템이다. 치의학 교육과 훈련 측면에서는

All-ceramic 보철물의 치아 삭제 방법을 치과대학 학생에게 교육하기 위한 증강 현실 (augmented reality) 어플리케이션 제작에 온톨로지를 이용한 사례 [34]가 있었다. 정보 교환과 통합 측면에서는 기존 용어 시스템과 의미적인 가교 (semantic bridge)로서 온톨로지를 활용한 사례가 있다. 이런 목적으로 개발된 것으로 SNODENT [39] 와 EZ 코드 [40]가 있다. SNODENT는 ADA (American Dental Association)의 주도로 만들어진 진단 용어 온톨로지이고, EZ 코드는 최근에 COHRI (Consortium for Oral Health-Related Informatics)라는 그룹의 주도로 개발중인 진단 용어 온톨로지이다. 마지막으로 임상 의사결정 지원 시스템에 치의학 온톨로지를 활용한 기존 사례는 없었으나, 임상 지식을 체계화하는 방편으로써 활용 가능한 분야로 구분하였다.

온톨로지는 임상 의사결정 지원 시스템의 지식 베이스에서 중요한 역할을 담당할 수 있다 [41]. 온톨로지는 의사결정 지원 시스템에서 정보 구조에 대한 명세서로서의 역할을 충분히 담당할 수 있기 때문이다. 온톨로지의 활용은 해당 분야의 지식 공유와 재사용, 해당 영역의 제약과 가정에 대한 명시, 지식과 프로세스의 분리 등의 장점을 가진다 [42]. 임상 의사결정 지원 시스템을 디자인하는데 온톨로지를 활용하면 확장성 (extensibility)과 보수성 (maintainability)의 장점을 얻을 수 있다 [43]. 이러한 장점 덕분에, 다양한 분야에서 임상 의사결정 지원 시스템의 지식 베이스로 온톨로지를 활용한 사례가 있다.

Rubin 등은 관통상 환자의 해부학적 지식을 온톨로지로 체계화하여 치료의 범위에 관한 의사결정을 지원하는 지식 베이스를 개발하였다 [44]. FMA 해부학 온톨로지를 참조하여 장기의 공간적인 관계를 모델링하고, 온톨로지를 이용하여 손상의 범위를 추론하였다. 이 연구는 FMA 같은 기존의 온

톨로지를 효과적으로 재사용하여 온톨로지 지식 베이스를 풍부하게 할 수 있음을 보여준다.

Riano 등은 만성 질환 환자의 개별화된 건강 관리 방법에 관한 의사결정을 지원하는 지식 베이스를 개발하였다 [45]. ICD (international classification of diseases) 용어 시스템을 참조하여 환자의 질병을 분류하고, 온톨로지를 이용하여 환자의 상태를 표현하였다. 환자의 상태에 따른 건강 관리 지침을 일종의 규칙 기반으로 표현하여 지식 베이스를 구축하였다. 이 연구는 지식 베이스를 환자의 상태와 같은 선언적인 지식과 규칙 기반의 절차적인 지식 형태로 분리하면 효율적으로 구축할 수 있음을 보여준다.

Mabotuwana와 Warren은 고혈압 환자 관리에 관한 의사결정을 지원하는 지식 베이스를 개발하였다 [46]. 고혈압 환자의 EMR (electronic medical records) 자료를 온톨로지로 불러와서, 처방된 약의 성분, 복용기간, 복용하지 않은 기간, 측정된 혈압 수치 등을 분석하였다. 규칙 기반의 질의 방법을 이용하여 환자와 의사에게 혈압관련 데이터를 시각화하여 제시하였다. 이 연구는 환자의 기존 의무기록 자료를 의미적으로 체계화하는데 온톨로지를 활용할 수 있음을 보여준다. 또한, 대부분의 기존 연구는 의료 분야 지식 베이스이기 때문에, 치과적 특성을 고려한 지식 베이스를 구축할 필요가 있다.

지식 베이스를 구축하는데 필요한 지식 표현에는 두가지 요구사항이 있다. 첫 번째는 의사의 지식이 시스템에서 사용 가능한 정도로 풍부하게 표현되어야 한다 [8]. 이러한 의미에서 기존의 의료 용어 시스템은 단순한 용어 목록이거나 트리 형태인 경우가 많아 지식의 표현력이 적다. 어떤 시스템이 좀더 표현력이 큰 지식을 요구하는 경우에는 기존의 의료 용어 시스템만으로는 부족하게 된다. 두 번째는 다른 시스템에서 재사용 가능하고, 확장 가능해야

하며, 다른 지식표현 방법과 결합 가능해야 한다 [42]. 이러한 요구를 만족하기 위해서는 지식 표현이 표준적인 문법에 의해서 기술되어야 하고, 단위화(modularity)될 수 있어야 한다 [47]. 표현력이 높고, 표준 문법을 가진 지식 표현 방법으로 OWL (웹 온톨로지 언어, web ontology language) [48]이 있다.

OWL은 상당히 큰 표현력을 지원하는 서술 논리 (description logic) 기반의 문법이 표준화된 언어이다. OWL 언어는 클래스(class)와 속성(property), 인스턴스 (instance = individual), 데이터 값(data value)에 대한 표준 문법을 제공한다. 각 인스턴스와 클래스의 제한 (constraint)에 관한 공리(axiom)의 집합으로 구성되고, 클래스-클래스, 인스턴스-인스턴스 간의 관계를 속성으로 표현한다. 속성을 이용한 개념 간의 촘촘한 네트워크가 지식의 표현력을 높일 수 있다. 또한, 서술 논리를 기반으로 작성된 언어이기 때문에 표준화된 추론 방법을 사용할 수 있다. 특정 추론 엔진에 종속적이지 않고, OWL을 위한 실행 엔진 개발을 할 필요가 없으므로, 지식 표현에만 집중할 수 있다. 이 연구는 위와 같은 장점을 가진 OWL을 기반으로 치과보철 치료에 관한 지식을 표현하였다.

이 연구의 온톨로지는 치과보철 치료에 대한 공유의사결정을 지원하기 위한 목적으로 개발하였다. OWL을 기반으로 치과보철 치료에 관한 개념을 표현하고, 이와 관련된 해부학적 개념과 질병의 분류는 기존의 온톨로지 또는 용어 시스템을 참조하였다. 치과보철 치료 방법을 도출하는데 필요한 선언적인 지식과 절차적인 지식을 분리하여 지식 베이스를 구성하였다.

2.2.2. AHP (Analytic Hierarchy Process)

AHP 방법은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교에 의한 분석을 통하여 의사결정자의 지식, 경험 및 직관을 포착하는 의사결정방법이다 [9]. 의사결정을 내리는데 다양한 기준 (criteria)이 있고, 이 기준 사이에 절충해야할 필요가 있는 상황에서 대안 (alternative)의 중요도를 수학적으로 산출하는 방법이다. 대표적인 예는 여러 자동차중에 하나를 선택해야 하는 의사결정을 내릴때, 경제성, 안전성, 디자인 등을 종합적으로 고려하는 경우이다. 안전성과 디자인이 뛰어나면서 가격이 가장 저렴한 대안은 없을 가능성이 있기 때문에, 사람들은 자신의 기준 사이의 절충을 통해 의사결정을 내리게 된다. 실무적으로는 시스템 도입의 타당성 분석, 각종 정책 수립, 자원 배분, 프로젝트 관리 등에 효과적으로 사용되고 있다. AHP 방법의 장점은 첫째, 분석 과정이 간단하다는 점을 들 수 있다. 기준 요소나 대안의 중요도 평가 과정에서 쌍대비교 (pairwise comparison)를 함으로써 의사 결정자의 선호 정보를 얻기가 용이하기 때문이다 [49]. 둘째, 분석 과정의 특성상 정량적 요소와 정성적 요소를 동시에 고려하기가 용이하다는 점을 들 수 있다. 정성적 요소에 대한 평가 결과를 정량화하거나 평가 결과를 규준화하는 과정을 거치지 않기 때문이다.

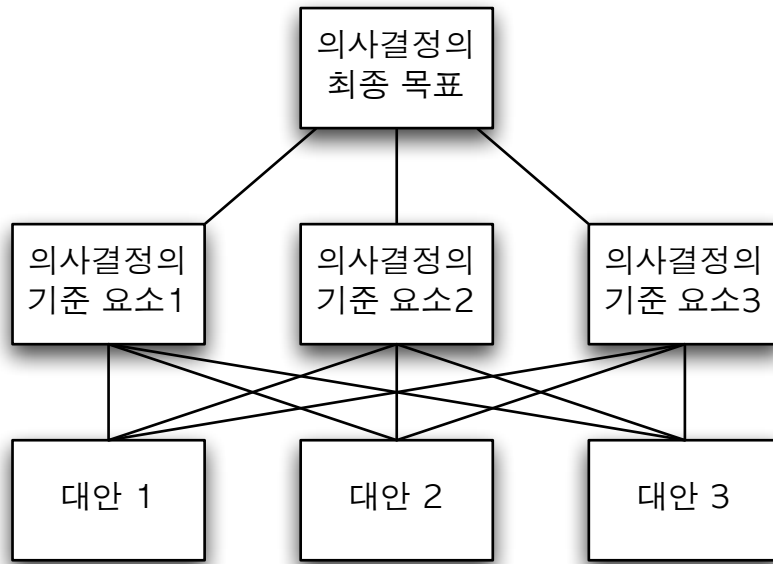


그림 1. AHP 방법의 일반적인 계층 구조

AHP 방법은 다음과 같은 3 단계를 거쳐서 이루어진다 [50]. 먼저 첫 번째 단계는 의사 결정 문제의 의사 결정 요소들 간의 관계를 분석하여 계층 구조를 형성하는 것이다. 의사결정의 최종 목표, 기준 요소, 대안 등 문제의 구성 요소들 사이의 관계를 표현하기 위하여 계층 구조를 이용한다. 그림 1에 보는 바와 같이, 최상위 계층은 하나의 원소로 구성되며, 이는 의사 결정의 포괄적이고 전반적인 목적을 나타낸다. 중간 계층은 의사결정의 최종 목표를 달성하기 위한 기준 요소로 구성된다. 마지막으로, 최하위 계층에는 대안들이 나타난다. 두 번째 단계는 각 계층내의 의사 결정 요소들의 쌍대 비교를 통하여 계층별로 요소들의 중요도를 결정하는 것이다. 의사결정 요소 간의 쌍대비교는 두 유형으로 이루어진다. 의사결정 목표를 달성하기 위한 기준 요소의 중요성에 대한 비교와 의사결정 기준을 만족시키는 의사결정 대안들의 능력에 대한

비교이다. 마지막 단계에서는 각 계층별로 얻어진 요소들의 중요도를 모두 결합하여 대안을 선택하는 것이다.

Liberatore와 Nydick은 AHP 방법을 임상 의사결정에 적용한 분야를 크게 7가지로 나누었다 [10]: 진단; 환자 참여; 치료; 장기 이식; 의료 기술의 평가와 선택; 인적 자원 관리; 진료 정책의 평가. 이 중에서 ‘환자 참여’ 분야가 공유의사결정을 뜻한다. 구체적으로 대장암 검사, 쌍거풀 수술, 전립선암 검사 및 치료, 마비 (tetraplegia) 환자의 재활 치료에 관한 공유의사결정에 AHP 방법을 적용한 연구가 있었다. 치과 분야에서는 치과 서비스 질(quality)에 관한 구조를 모델링하는데 사용한 사례가 있었다 [51]. 치과 분야의 공유의사결정에 AHP 방법을 활용한 연구는 없었다.

Dolan은 대장암 검사 방법에 대하여 공유의사결정하는데 AHP 방법을 활용하였다 [52]. 기준 요소로 대장암 발견, 검사의 위양성 (false-positive), 검사 부작용, 검사 비용, 검사의 불편감을 사용하였다. 다섯 가지 기준 요소간의 쌍대 비교를 하기 때문에 총 10번의 비교 과정이 필요하고 평균적으로 35분이 소요되었다. 따라서 AHP 방법을 효율적으로 적용하려면 적절한 계층 구조의 형성이 필요하다.

Singpurwalla 등은 쌍거풀 수술 시행 여부에 대하여 AHP 방법을 적용하였다 [53]. 기준 요소로 젊어보이는 외모, 시술의 영구성, 흉터, 시술 비용을 이용하였다. 대안 요소로는 쌍거풀 수술 시행과 시행하지 않음의 두가지로 비교적 간단히 구성하였다. 이 연구는 단순한 의사결정 문제를 대상으로 하여, 실제 복잡한 임상 현장에 적용하는데 한계가 있다.

Richman 등은 전립선암 치료에 대하여 AHP 방법을 활용하여 공유의사결정을 하였다 [54]. 기준 요소로 크게 전립선암 완치 확률, 전이 확률, 수명

연장, 삶의 질, 치료의 합병증, 수혈의 위험 요인으로 구성하고, 각 요소마다 세부적인 기준 요소를 덧붙여 총 31개의 기준 요소를 사용하였다. 이 연구는 AHP 방법 자체의 단점을 보여준다. 쌍대 비교를 통해 각 기준 요소를 비교하기 때문에, 기준 요소가 너무 많을 경우 올바른 중요도가 도출되기 어렵다.

Liberatore 등은 전립선암 검사에 대하여 AHP 방법을 변형하여 적용하였다 [55]. 기준 요소를 사전에 결정하지 않고, 환자와 면담을 통해 3가지 중요한 고려 사항을 기준 요소로 삼았다. 각 기준요소를 쌍대 비교하지 않고 환자가 우선 순위로 서열화하도록 하였고, 각 기준 요소마다 전립선암 검사를 받는 것이 좋을지 반복 면담하여 중요도를 산출하였다. 쌍대 비교 과정이 생략되어 시간이 짧아지는 장점이 있지만, 정확한 환자 선호도를 파악하기 어려운 단점이 있다.

치과보철 분야에서 공유의사결정을 내리는데 AHP 방법을 적용하려면 적절한 계층 구조를 형성해야 한다. 기존 연구들의 AHP 계층 구조는 의과 분야를 대상으로 하였기 때문에 그 결과를 치과보철 분야에 그대로 적용하는데 한계가 있다. 치과 진료의 특성을 반영하여 기준 요소를 설정해야 한다. 일반적으로, 치과의사는 치과 보철치료의 수명 (longevity)을 기준 요소로 선택하는 경향이 있는 반면, 젊은 환자는 보철 치료의 심미성을 중요한 기준 요소로 선호하는 경향이 있다 [56]. 기존 설문연구에서도 치과의사는 젊은 환자의 교합력이 집중되는 부위에 대한 수복물로 아말감보다는 치아 색이 나는 수복물을 사용하고 있다고 보고하였다 [57]. 따라서 AHP 방법의 기준요소로 치료의 비용을 포함하여 심미성과 수명 등으로 설정할 수 있을 것이다. 그러나, 대안 요소는 치과보철을 필요로 하는 환자의 질병 양태에 따라 다를 수 있기 때문에 사전에 정의하기 어렵다. 대안 요소는 체계화된 임상 지식을 추론하여 환자마

다 개별적인 대안을 제시하는 것이 합리적이다. 결국 AHP 계층 구조 형성에 온톨로지 방법론을 통합하는 것이 한 방안이 될 것이다.

요약하면, 온톨로지 및 AHP 방법에 대한 기존 연구는 주로 의과 분야를 대상으로 하였고, 치과 분야의 특성을 고려한 연구가 필요하다. 따라서, 온톨로지와 AHP 방법을 통합하여, 치과보철 치료를 요하는 환자와 치과의사 간의 쌍방향 의사소통을 돕는 시스템을 개발하고자 한다.

3. 연구 방법

연구 방법은 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템을 개발하는 것이다. 우선 전체적인 시스템의 설계도를 살펴보고, 임상 지식을 체계화하기 위한 온톨로지의 구축과정을 단계별로 자세히 설명하고자 한다. AHP 방법을 이용하여 어떻게 환자 선호도를 측정하고 분석하였는지를 기술하고, 온톨로지와 AHP 방법을 통합한 웹 어플리케이션 구축 과정을 설명하고자 한다.

3.1. 시스템의 설계

이 시스템의 전체적인 기능 명세 (functional description)는 그림 2에 도해하였다. 우선, 환자의 구강 검진을 통해서 질환과 이환 부위와 같은 정보를 수집한다. 이 정보는 이 시스템에 내장된 온톨로지의 인스턴스 (instance)로 추가된다. 시스템에 내장된 온톨로지는 치과보철 치료에 대한 근거를 저널, 교과서, 치과 전문의의 도움을 받아 미리 작성된 것이다. 환자의 치의학적 문제점에 관한 정보를 담고 있는 온톨로지에 질의 (query)를 하여 자동적으로 근거중심의 치과보철 치료 대안들이 도출된다. 그리고, 시스템은 환자로부터 편의성, 가격, 심미성, 보철물의 수명과 같은 선호도를 쌍대 비교 (pairwise comparison) 방법으로 입력을 받는다. AHP 방법에 따라, 환자 선호도의 쌍대 비교를 통해 각 치과보철 치료 대안들에 대한 가중치가 자동적으로 계산된다. 가중치가 높은 순서대로 환자의 선호도에 맞는 보철치료 대안임을 의미한다. 이제, 치과의사와 환자는 의사결정을 내릴 수 있는 정보를 얻었고, 쌍방향 의사소통을 거쳐 공유의사결정을 내릴 수 있다.

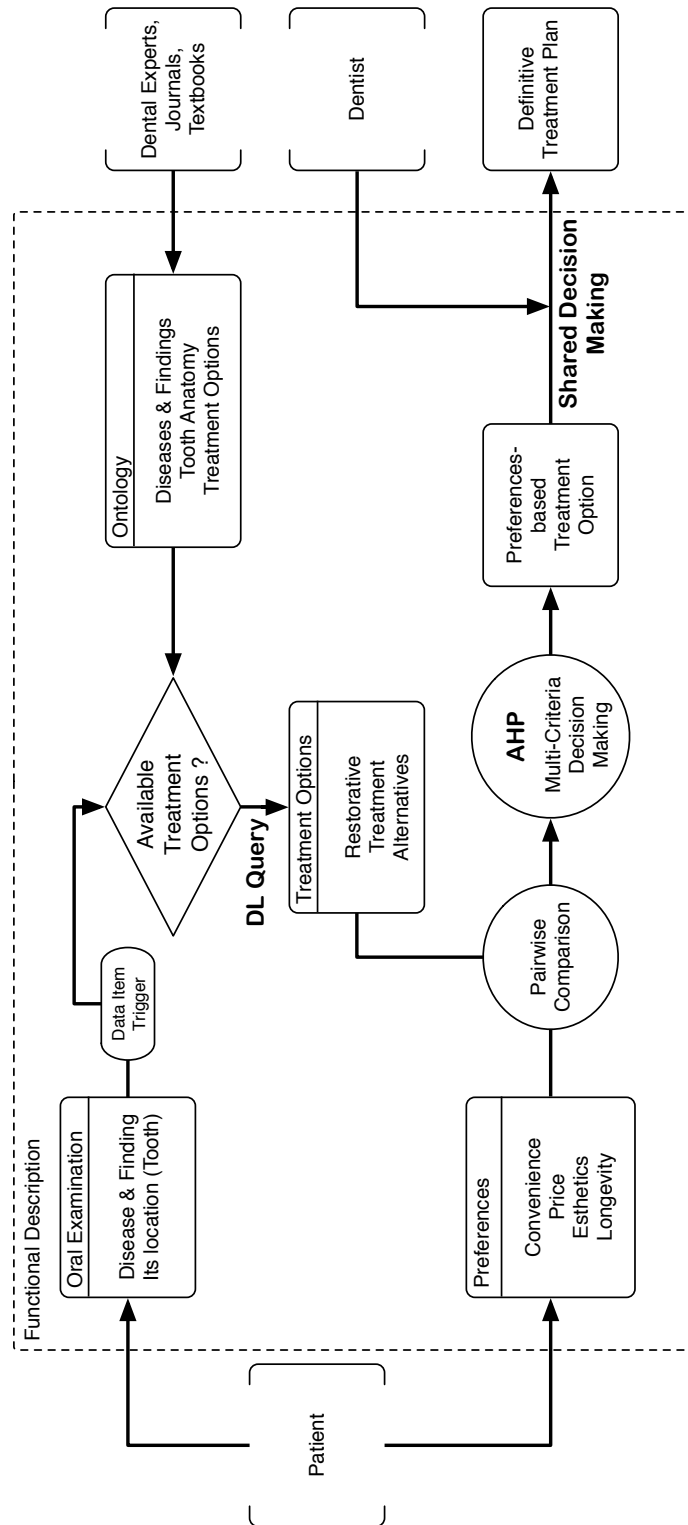


그림 2. 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템의 기능적 명세

3.2. 온톨로지 디자인

3.2.1. 온톨로지 개발 과정

온톨로지의 개발은 널리 알려지고 이해하기 쉬운 Noy와 McGuinness의 온톨로지 개발 방법론 [58]을 따랐다. 전반적인 과정은 그림 3에 요약하였다. 가장 먼저 수행하는 단계는 온톨로지의 도메인과 범위를 결정하는 단계이다. 이 단계에서는 일반적으로 온톨로지 개발 전문가, 도메인 전문가, 서비스 담당자 등 관련된 사람들이 모여 브레인스토밍으로 기본적인 질문과 대답을 통해 온톨로지의 큰 그림을 그려나가게 된다. 이에 포함되는 기본적인 질문은 다음과 같다: 온톨로지가 포함하는 영역; 사용하는 목적; 제공하는 정보; 이용자. 이 연구의 온톨로지 개발 영역은 치과보철 치료분야이고, 공유의사결정을 위한 치과보철 치료 대안의 도출을 목적으로 한다. 제공하는 정보는 구강내 질환과 증상, 치아의 해부학적 구조 및 위치관계, 치과보철 치료의 분류와 특성 등이 된다. 최종적인 이용자는 환자와 의사이므로 개념의 어휘 선택이나 개념 분류 시에 이를 고려해야할 것이다.

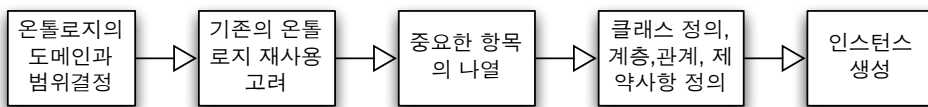


그림 3. 온톨로지의 개발 과정

두번째 단계는 기존의 온톨로지를 살펴보고 재사용이 가능한 온톨로지가 있는지 고려해보는 단계이다. 개발하고자하는 온톨로지가 이미 다른 곳에서 구현이 되어져 있는 경우가 있기 때문에 이를 적절히 활용하여 재사용성을 높이고 다른 온톨로지와 상호작용을 극대화할 수 있을 것이다. 물론 기존의 온톨로지를 이용할 때 개발하고자 하는 온톨로지와 연관성이 없는 부분이 포함될 수 있으므로 충분히 검토 후 사용여부를 고려해야 할 것이다. 이 연구의 온톨로지에서도 질병과 해부학적인 부분에서 기존 온톨로지를 재사용하였는데, 자세한 내용은 3.2.3 절에서 다루도록 하겠다.

세번째 단계는 온톨로지에서 중요한 항목들을 열거하고 주요한 문장들을 나열함으로써 표현하고자 하는 것이 무엇인지를 리스트로 나열한다. 이 연구는 치과보철 치료 대안의 도출을 목적으로 하고 있으므로, 치과 보철물, 재료, 특성, 치아 해부학적 구조, 구강내 질환 및 증상 등이 나열될 수 있을 것이다.

네번째 단계는 클래스 정의, 클래스 계층화, 클래스 관계 정립을 하는 단계이다. 세번째 단계에서 생성한 주요 항목 리스트로부터 클래스를 정의하고 정의한 클래스의 계층 및 클래스 간의 관계를 정의함으로써 개념을 표현한다. 우선 의미적으로 같은 범위 안에 속하는 항목들을 하나의 개념으로 생성하여 클래스를 정의한다. 클래스 간의 포함관계, 상하관계 등을 정리하여 계층화하고, 클래스 간에 존재하는 관계를 파악하여 연결한다. 특히 관계적인 특성들(대칭성, 이행성, 역특성, 함수값 등)을 정의해야 한다. 이 논문에서는 3.2.3 절에서 클래스 간의 관계와 그 특성들에 관하여 자세히 다룰 것이고, 3.2.4 절에서 클래스의 정의 및 그 제약 조건에 해당하는 공리 (axiom)를 설명할 것이다.

다섯번째 단계는 인스턴스를 생성하는 단계로서 온톨로지 스키마에 따라 실제 인스턴스를 구축한다. 이 연구에서는 대부분의 인스턴스를 미리 생성하지 않고, 어플리케이션에서 입력을 받아 생성하게 된다. 치과보철 치료에 관한 인스턴스만 온톨로지 개발 단계에서 생성하였다. 이는 3.3 절에서 설명할 치료 대안의 AHP의 가중치를 data-type으로 저장하는데 이용하였다.

이와 같은 단계를 마치면, 온톨로지를 자체적으로 평가하고 일관성을 확인한다. 필요한 개념이 빠지진 않았는지, 개념이 잘못 정의되지 않았는지 확인하고, 새롭게 개념을 생성하거나, 수정, 삭제 한다. 온톨로지 평가를 돕기 위해 일관성 평가를 시행하기도 하는데, 자세한 결과는 4.1 절에 기술하였다.

3.2.2. 치과보철 치료분야에서의 온톨로지의 기초

BFO (basic formal ontology) [59]에서는 온톨로지에 표현되는 개념을 크게 4가지의 상호 별개 (mutually disjoint)의 범주로 나누었다: continuants; occurrents; classes; individuals. Continuants와 occurrents는 시간에 따라 개념이 변화하는지에 따라 나뉘고, 클래스 (class)와 인스턴스 (instance =individual)는 각각 개념의 추상성과 구체성에 따라 나뉜다. Continuants는 의존적이나 독립적이냐에 따라 두 가지로 나뉜다. Dependent continuants는 질 (quality), 역할 (role), 기능 (function)과 같이 다른 객체가 있어야 존재할 수 있는 개념을 뜻한다. Independent continuants는 그 개념의 존재가 다른 객체와 상관없을 경우이다. Dependent continuants는 항상 독립적 continuants를 가져야한다. Occurrents는 시간이 변화함에 따라 개념이 변하는 과정 (process), 활동 (activity), 이벤트 등을 일컫는다.

	Occurrents	Dependent Continuants	Independent Continuants
Classes	Amalgam Filling	Dentin Caries	Tooth
	C o m p o s i t e	Enamel Caries	
	Resin Filling		
	G o l d I n l a y Restoration	Pulpitis	
Individuals	Mr. Park’s Amalgam Filling	Mr. Park’s Dentin Caries	Mr. Park’s Tooth

표 1. 치과보철 치료 분야에서의 BFO에 따른 상호 별개의 범주의 예시

치과 분야에서 구체적인 예시를 하면 다음과 같다. Tooth 클래스는 치의학에서 보편적인 개념이고, 이 클래스의 인스턴스는 특정 시간과 장소에서 특정 환자의 특정 치아를 의미하는 개념이다. 해부학적 구조의 개념은 independent continuants이다. 그 의미가 변함이 없고, 그 존재에 다른 객체가 필요하지 않기 때문이다. 질병은 바라보는 시각에 따라 달라질 수 있다. 이를 시간이 흐름에 따라 변하는 과정(process)의 관점에서 occurrents로 포함시킬 수도 있고, 비정상인 의학적 상태를 표현하는 continuants로 바라볼 수도 있다. 이 연구에서는 후자의 관점 [60]을 따라서, 질병을 dependent continuants의 범주에 포함하였다. 치료는 지속적인 단계를 의미하므로, occurrents의 범주에 포함하였다. 표 1은 이러한 구별과 그에 해당하는 치과분야에서의 예시를 보여주고 있다.

이후의 온톨로지 개발에 관한 대부분의 설명은 클래스에 한정한다. 이 연구의 온톨로지 개발 목적이 환자의 질병과 이환 부위에 따른 치료 대안을 도출하고자 함이기 때문이다. 개발된 온톨로지를 임상 의사결정 지원 시스템의 한 부분으로 이용하려는 것이지, 각 환자의 치과 의무 기록을 남기기 위한 것은 아니기 때문이다. 의사결정 지원에 필요한 인스턴스는 개별 환자로부터 입력 받아야 하기 때문이기도 하다.

3.2.3. 질병-치료-해부학적 개념의 상호적 연결

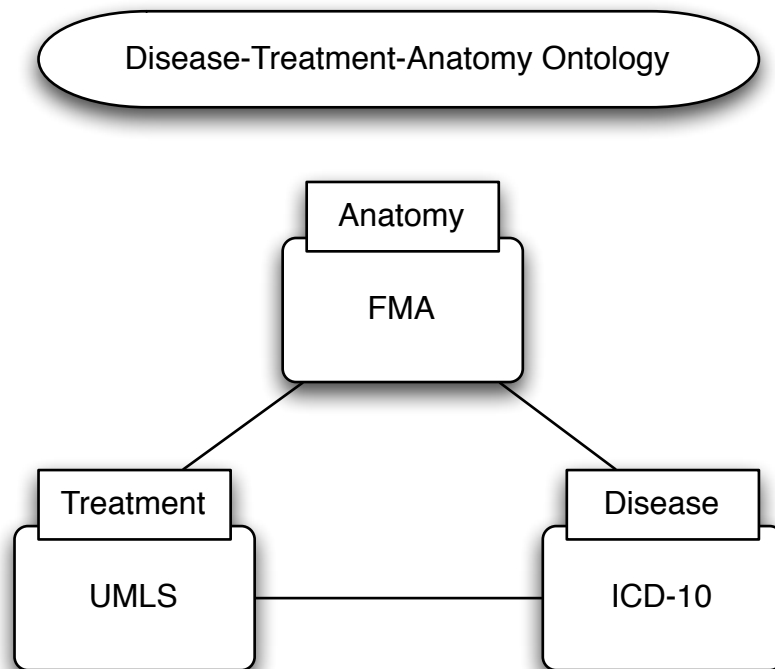


그림 4. 질병-치료-해부학적 개념의 상호적 연결

치과보철 치료 대안을 제시할 목적으로 온톨로지를 개발하는데 다음과 같은 세가지 요소를 고려하였다 (그림 4): 질병과 증상의 분류 개념; 공간 관계를 포함한 치아 해부학적 개념; 치과보철 치료 개념. 질병과 증상의 개념은 ICD-10 (The International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, ICD) 용어 시스템을 이용하였고, 치아 해부학적 개념은 FMA (Foundational Model of Anatomy) 온톨로지에서 가져왔다. 치과보철 치료 개념은 이 연구에서 직접 개발하였다. 세가지 요소를 포함한 전체 온톨로지를 TPSS (Treatment Planning Support System) 온톨로지라 명명하고, 각 개념을 통합하였다. 3.2.1 온톨로지 개발 과정에서 설명한 바와 같이, 기존 온톨로지를 이용하는 것은 재사용성을 높이고, 기존 온톨로지와 상호운용성을 높일 수 있을 것이다.

기존 온톨로지를 이용하는 것은 때로 복잡한 문제에 부딪힌다. 해부학적 개념을 표현하기 위해 이용한 FMA 온톨로지는 방대한 양의 컨셉들로 구성되어 시스템의 효율성을 떨어뜨린다. 게다가 TPSS 온톨로지는 OWL 2를 이용하여 개념을 표현하였는데, FMA는 frame이라는 다른 표현 방식으로 개념화되어 통합하기 어렵게 만든다. 반대로 ICD-10 용어 시스템은 질병의 분류계층만 포함하고 있어 너무 단순하다. 따라서, 재사용할 기존 온톨로지를 이 연구의 목적에 맞게 다듬는 작업이 선행되었다.

ICD-10은 질병 및 관련 건강 문제의 국제 통계 분류 10차 개정판으로, 세계 보건 기구에서 질병과 증상 등을 분류해놓은 것이다. 이 분류에 따라 환자의 질병과 증상을 파악하였고, TPSS 온톨로지에 치과분야에 관련된 개념만 클래스로 명명하여 포함시켰다. 그림 5는 TPSS온톨로지에 포함된 치과 관련 질병의 클래스 계층을 보여주고 있다. 참고로, 클래스 이름에 작은 따옴표

가 붙어있는 것은 TPSS온톨로지에서 직접 생성한 클래스가 아니라 불러온 온톨로지의 클래스라는 뜻이다.

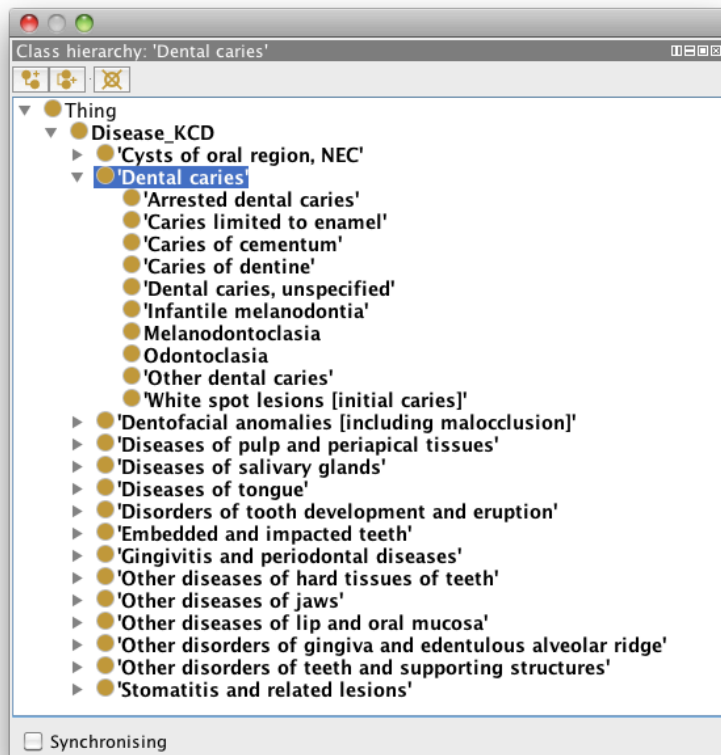


그림 5. TPSS 온톨로지에 포함된 ICD-10 용어

ICD-10 용어 시스템에 한국 치과 환경에 맞도록 속성을 부여하였다. 그림 6은 ‘Caries of dentin’ 클래스에 annotation 속성 - 실제 추론에 이용되지는 않으나, 클래스의 정보(버전, 저작자, ID, 동의어 등)를 표현해준다 - 을 보여주고 있다. 대응되는 KCD (한국 표준 질병 사인분류, Korean Standard Classification of Diseases)에 따른 한국어 병명을 붙이고, KCD 5차 개정판에

따른 코드 번호를 삽입하였다. 이는 추후 재사용할 때 참조점이 될 수 있을 것이다.

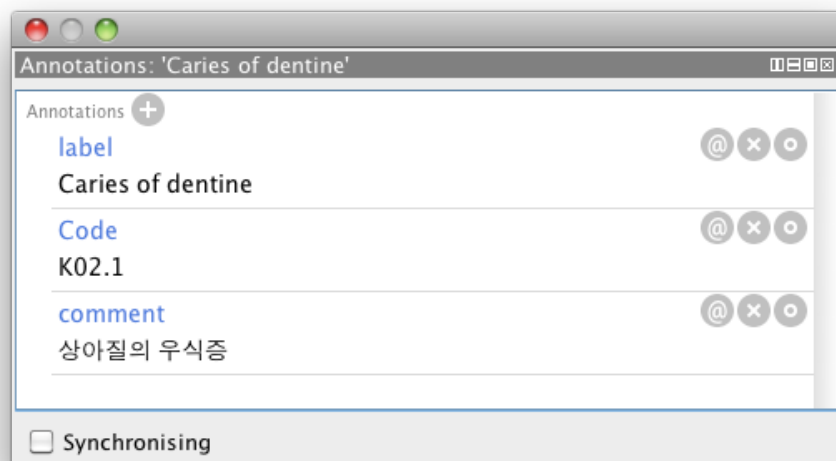


그림 6. Caries_of_dentine 클래스의 annotation 속성

FMA 온톨로지는 의학분야의 온톨로지를 개발할 때 가장 적합한 템플릿으로 고려되고 있는 참조 해부학 온톨로지이다 [30]. FMA 온톨로지는 인간의 해부학적 구조물에 대한 명시적인 선언적 지식 (explicit declarative knowledge)을 표현한 도메인 온톨로지이다. 해부학적 구조에 대한 개념을 표현하기 위하여 클래스 와 type (일종의 인스턴스와 비슷한 개념)을 사용하고 그 부분-전체 관계 (part-whole relationship)가 정의된 온톨로지이다. 세포에서부터 장기에 이르는 70,000개가 넘는 개별 해부학적 개념을 포함하고, 이 개념은 110,000개가 넘는 해부학 용어와 연관되어 있다. 170가지가 넘는 관계

(relationship)로 연결된 인스턴스 (instance)의 수는 150만개가 넘는다. 이런 방대한 FMA 온톨로지에서 치아와 관련된 클래스만 TPSS 온톨로지로 가져왔고, 기존의 부분-전체 관계 구조는 유지하면서 OWL 형식에 맞추어 변환하였다.

본래 FMA 온톨로지는 frame기반의 구문이기 때문에, OWL과 같은 서술 논리 (description logic) 기반의 구문으로 변환할 때 주의를 기울이지 않으면, 의도하지 않은 결과가 나타나거나, 상실된 개념이 나타날 수 있다 [61-63]. 그래서, 이 연구에서는 부분-전체 계층구조를 `part_of` 와 `has_part` 속성을 가지고 직접 구현하였다. 그림 7은 TPSS 온톨로지로 불러온 FMA 온톨로지 클래스 중에 Right lower first secondary molar tooth의 계층관계와 속성을 보여주고 있다. FMA 온톨로지의 `Tooth` 클래스는 `Organ_with_organ_cavity` 클래스의 하위 클래스로 정의되고, 바로 하위로는 `Canine`, `Incisor`, `Molar`, `Premolar tooth` 클래스로 나누고, 손자 클래스로는 영구치와 유치로 구분되어 있다. FMA 온톨로지에 담겨있던 정보 중에 동의어, 선호명 (preferred name), FMA ID는 annotation 속성을 이용하여 정의했다. TPSS 온톨로지의 `Tooth` 클래스는 FDI two-digit tooth numbering system에 따라 치아번호를 이용하여 생성하였다. TPSS 온톨로지서 생성한 “No46” 클래스는 FMA 온톨로지의 Right lower first secondary molar tooth와 동일한 개념으로 정의하였다. 결국 FMA 온톨로지의 부분-전체 개념과 클래스 계층을 그대로 TPSS 온톨로지로 가져올 수 있었다.

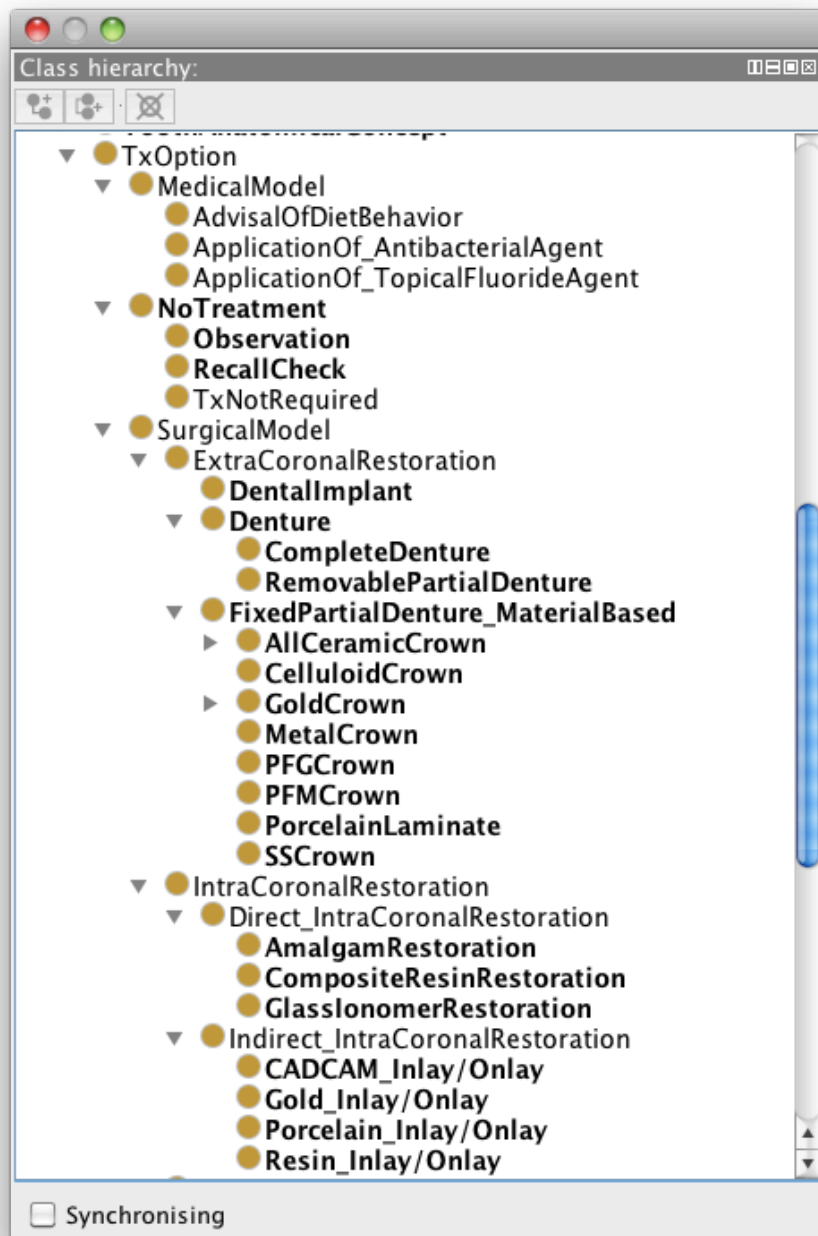


그림 8. TPSS 온톨로지의 치과보철 치료 클래스(TxOption class) 계층

치과보철 치료 대안에 대한 기존 온톨로지는 없었다. 따라서, TPSS 온톨로지에 포함된 치과보철 치료방법은 UMLS (Unified Medical Language System) metathesaurus에서 필요한 컨셉들을 빌려와, 직접 계층화, 구조화시키고 질병, 해부학적 구조 컨셉과 연결하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이, 치과보철 치료 대안들의 개념을 모두 포함한 최상위 계층을 TxOption 클래스로 정의하고, MedicalModel, SurgicalModel, NoTreatment 클래스로 크게 세부분으로 나누었다. MedicalModel 클래스는 침습적 치료방법에 상반되는 것으로, 식이조절, 항생제 처방, 불소 도포와 같은 클래스를 하위에 두고 있다. SurgicalModel 클래스는 침습적인 치료를 표현하기 위한 것으로, 치관내 수복 치료 (ExtraCoronalRestoration)와 치관 외 수복 치료 (IntraCoronalRestoration)로 나뉜다. 치관내 수복 치료는 직접법과 간접법으로 나누어 세분화하였다.

질병, 치료, 해부학적 개념은 RO (Relation Ontology) [64]의 속성을 이용하여 의미적으로 연결하였다. RO에서 `part_of`, `located_in`, `has_participant`의 세가지 속성을 가져왔다. `part_of` 속성은 TPSS 온톨로지에서 부분-전체 관계를 표현하는데 이용하였다. `located_in` 속성은 일반적으로 위치관계를 표현하는데 이용하는데, 이 연구에서는 이런 일반적인 관점보다 넓은 의미로 이용하였다. 치료 개념이 치아의 해부학적 구조 개념에 위치한다고 표현하였다. 따라서, 아말감 수복이라는 치료는 금속색으로 인해 전치부 치아에 위치할 수 없다고 표현할 수 있다. 그림 9는 AmalgamRestoration 클래스가 구치부 치아 클래스와 `located_in` (노란색 점선) 속성으로 연결된 것을 보여주고 있다. `located_in` 속성이 해부학적 구조간의 공간 관계를 표현하는 것 뿐만 아니라 치료 클래스와 해부학적 구조 클래스를 연결하는데 사용함으

로써, 간결한 온톨로지를 개발하는데 효과적으로 기여하고 있다 [65]. RO에서 `occurents`와 `continuants`를 연결하는 속성은 `has_participant` 이다. 따라서 TPSS온톨로지에서는 `occurents`에 해당하는 치료 클래스와 `continuants`인 질병 클래스를 `has_participant` 속성으로 연결하면 된다. 그러나, 이 연구의 목적에 적합한 속성 이름을 가지기 위해서 `has_participant` 의 서브클래스로 `has_Indication` 속성을 생성하고, 이를 통해 치료 클래스와 질병 클래스를 연결하였다. 그림 8은 `AmalgamRestoration` 클래스가 `Caries_of_dentine`, `Caries_limited_to_enamel`, `Other_dental_caries`, `Dental_caries_unspecified`와 같은 치아 우식증 질병과 `has_Indication` 속성 (빨간색 점선)으로 연결된 것을 보여주고 있다.

3.2.4. 개념 표현

개념을 표현하기 위한 형식을 선택하는 것은 온톨로지를 개발하는데 매우 중요한 일이다. KIF, Ontolingua, Semantic net, Frames와 같은 다양한 개념 표현 형식이 있다. 웹의 시대가 열리면서 등장한 OWL (web ontology language)은 웹에 표현된 내용을 의미적으로 기술하기 위한 표준으로 자리잡았다. 최근에는, OWL이 의생명공학 분야에서 질병, 증상, 해부학, 치료와 같은 임상지식을 표현하는데 널리 이용되고 있다. OWL은 서술 논리 (description logic)를 기반으로 다양한 변종을 가지고 있으며 현재는 버전 2까지 나온 상태이다. 또한 OWL의 작성 및 편집을 도와주는 Protege [66]라는 널리 쓰이는 훌륭한 도구가 있으므로, 연구자는 OWL을 기반으로 손쉽게 온톨로지를 저작할 수 있다. 이 연구에서는 OWL 버전 2를 선택하여 온톨로지를 개발하였다.

이 논문에서 개념 표현을 위한 구문으로 OWL 2-based Manchester DL syntax를 사용하였다. 구체적으로, Tooth 클래스의 모든 인스턴스가 Organ_with_organ_cavity 클래스의 인스턴스라면, Tooth 클래스는 Organ_with_organ_cavity 클래스와 is-a 관계를 가지게 된다. 이는 Tooth 클래스가 Organ_with_organ_cavity 클래스의 서브클래스임을 의미하게 되고, OWL2 Manchester syntax로 표현하면 다음과 같다.

Class: Tooth

SubclassOf: Organ_with_organ_cavity

일반적으로 인간은 28개의 치아를 가지고 있고, 추가적으로 4개의 사랑니를 가지고 있을 수 있다. 각각의 치아는 전치 (anterior tooth) 이거나 구치 (posterior tooth)이다. 이중의 어떤 치아도 전치이면서 구치일 수는 없고, 전치나 구치 모두 아닐 수도 없다. 이 지식을 표현하면 다음과 같다.

Class: Tooth

EquivalentTo: Anterior_Tooth or Posterior_Tooth

DisjointClasses: Anterior_Tooth, Posterior_Tooth

전치는 일반적으로 우리가 웃을때 노출되는 치아를 일컫고, 절치 (incisor)와 견치 (canine)를 포함한다. 구치는 저작에 관여하는 치아를 말하고, 소구치 (premolar), 대구치 (molar)를 포함한다. 만약 사랑니가 있으면, 이는 구치에 해당된다. 이러한 방식으로 각 개별 치아가 전치이거나 구치로 구별될 수 있는 치아 위치에 대한 개념을 온톨로지로 저작하였다 [32]. 이처럼 치아의 위치에 따라 다른 기능을 가지고 있는 것은 각 치아마다 다른 치료 방법을 요구한다는 의미이기도 하다. 전치부 치아의 치료는 심미적이어야 하고, 구치부 치아의 치료는 저작에 견딜 수 있는 강성을 가지고 있어야 한다.

치아의 해부학적 구조에 관한 개념은 부분-전체 관계로 정의하였다. 부분-전체 관계를 정의하기 위한 속성으로 `part_of` 를 이용하였다. 예를 들어, 치아의 해부학적 구조물인 상아질 (dentin)은 치아의 한 부분이라고 정의할 수 있다.

Class: Dentin

SubclassOf: part_of some Tooth

ObjectProperty: part_of

Characteristics: Transitive, Reflexive, AntiSymmetric

SubPropertyOf: located_in

part_of 속성 자체를 정의하는 것은 어려운 문제이다. 포함 계층(subsumption hierarchy)을 따라서 추론하는 것은 매우 직관적이고 이해하기 쉽다 [67]. 예를 들어, 제2소구치는 구치이고, 구치는 치아라면 제2소구치가 치아라고 쉽게 추론할 수 있다. 그러나, 부분-전체 관계에서의 추론은 도전적인 과제이고 이와 관련한 많은 연구가 있었다 [68]. 예를 들어, 충수(appendix)는 장(intestine)의 한 부분이고, 충수염은 충수에 일어난 염증이다. 그렇다고 충수염이 장에 일어난 염증이라고 할 수는 없다. 이 문제를 해결하기 위한 한가지 방법으로 임의의 클래스를 생성하여, 전체를 의미하는 클래스와 그의 부분을 의미하는 클래스를 분리하는 것이다. 그럼으로써, 부분-전체 계층이 포함 계층으로 불필요하게 파급되는 것을 막을 수 있다 [69]. 이 방법은 불필요하고 의미가 불명확한 임의의 클래스가 필요하고, 기존 계층에 부가적인 변화를 줘야하는 한계점이 있다. 따라서, 이 연구에서는 Schulz 등이 제안한 located_in을 넓은 의미로 정의하여 부분-전체의 파급을 위한 매개체로 이용한 방법 [65]을 따랐다. 결국 위에서 보는 바와 같이 part_of 속성이 located_in 속성의 하위 속성이 되었다.

Class: Dental_Caries

EquivalentTo: Infectious_Disease and located_in some
Tooth

Class: Dentin_Caries

EquivalentTo: Infectious_Disease and located_in some
Dentin

위의 OWL2 Manchester syntax는 치아 우식증 (dental caries)과 상아질 우식증 (dentin caries)을 정의한 것이다. 상아질 우식증은 상아질 전체 또는 상아질의 어떤 부분에 위치한 감염성 질환으로 정의되었다. 앞서 설명한 바와 같이 상아질은 치아의 부분으로 정의되었으므로, 상아질에 위치한 상아질 우식증은 결국 치아 우식증이라고 볼 수 있는 것이다. 이와 같은 추론이 나온 이유는 `part_of` 속성이 `located_in` 속성의 하위 속성이 되고, 그 특성으로 이행성 (transitive)을 가지기 때문이다.

치료 클래스와 질환 클래스는 `has_Indication` 속성을 이용하여 연결하였다. `has_Indication` 속성은 RO의 `has_participant` 속성의 하위 속성으로 정의하고, 그 도메인과 레인지를 각각 Treatment 클래스와 Disease 클래스로 설정하였다. 예를 들어, 아말감 수복 치료는 상아질 우식증이 적응증이라는 임상 지식을 온톨로지로 표현하면 다음과 같다.

ObjectProperty: has_Indication

SubPropertyOf: has_participant

Domain: Treatment

Range: Disease

Class: Amalgam_Filling

SubClassOf: Direct_Intracoronal_Restoration

has_Indication some Dentin_Caries,

located_in some Posterior_Tooth

located_in some (not
(Esthetic_zone_of_oral_cavity))

아말감 수복물의 금속색 때문에 아말감 수복치료는 심미적인 구역 (esthetic zone)에서는 사용하지 않는다. 아말감 수복치료는 구치에 제한하여 사용한다. 하지만, 구치가 항상 구강내에서 비심미적인 구역에 위치하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 견치의 상실로 인해 제1소구치가 전방으로 이동할 수도 있고, 제1소구치가 선천적으로 위치이상을 보여 심미적인 구역에 위치할 수도 있다. 따라서, Esthetic_zone_of_oral_cavity 라는 클래스를 생성하여 아말감 치료가 가능한 위치를 제한하였다. 이 클래스는 상순과 하순 사이에서 미소지을 때 노출되는 구강내 구역을 의미한다.

반대로, 복합레진 충전치료는 치아색을 가지고 있으므로 전치와 구치 모두에 위치할 수 있다. 이처럼, 질환의 이환부위에 따라 치과보철 치료방법이 변화하는 것은 임상 의사결정에서 적절한 치료방법을 선택하는데 도움을 준다.

Class: Composite_Resin_Filling

```
SubClassOf:      Direct_Intracoronaral_Restoration

                has_Indication some Dentin_Caries,

                located_in some Anterior_Tooth,

                located_in some Posterior_Tooth
```

위에서 아말감 충전과 복합레진 충전 치료는 모두 직접 치관내 수복치료 (direct intracoronaral restoration)로 정의하고 있다. 이 의미는 환자가 치과에 내원한 당일에 충전 치료를 완성할 수 있다는 의미이다. 이는 환자가 빠른 치료를 선호한다면, 직접 치관내 수복치료를 제안하여야 할 것이다. 그러나, 당일에 우식증의 제거와 치아 기능의 회복이 동시에 일어나기 힘들다면 간접 치관내 수복치료 (indirect intracoronaral restoration)인 inlay 제작을 환자에게 제시하여야 할 것이다. 특히, 우식증이 치아와 치아 사이에 위치하거나, 타액 관리가 힘들거나, 적절한 접촉점을 부여해주기 힘들 경우에는 간접 치관내 수복치료가 직접 치관내 수복치료보다 예후가 좋다.

간접 치관내 수복치료의 적응증을 정의하기 위해 치아 면 (surface)을 정의하였다. Surface_of_Tooth 클래스는 치과보철 치료와 질환의 위치를 참조할 해부학적 개념을 가진 클래스이다. 이 클래스는 다섯가지의 서브클래스

를 가진다: Buccal_Surface_of_Tooth, Lingual_Surface_of_Tooth, Occlusal_Surface_of_Tooth, Mesial_Surface_of_Tooth, Distal_Surface_of_Tooth. Surface_of_Tooth 클래스는 개념적으로 치아의 노출된 면 (surface)만을 지칭하지만, 치과보철 치료와 질환의 범위를 측정할 수 있는 좋은 참조점이 될 수 있다.

Class: Surface_of_Tooth

EquivalentTo: Buccal_Surface_of_Tooth or

Occlusal_Surface_of_Tooth or

Lingual_Surface_of_Tooth or

Mesial_Surface_of_Tooth or

Distal_Surface_of_Tooth

Class: Proximal_Surface_of_Tooth

EquivalentTo: Mesial_Surface_of_Tooth or

Distal_Surface_of_Tooth

Class: Gold_Inlay_Restoration

SubClassOf: has_Indication some Dentin_Caries

located_in some Posterior_Tooth,

located_in some

Proximal_Surface_of_Tooth

Gold inlay 수복치료는 금속 색을 가지기 때문에 구치에만 위치할 수 있다. 특히 우식증이 구치의 인접면 (proximal surface)에 위치한 경우에는 gold inlay와 같은 간접 치관내 수복치료가 직접 치관내 수복치료보다 선호된다. 이 의미는 구치의 인접면에 우식증이 있을 때, 직접 치관내 수복치료를 행하지 말아야 한다는 의미는 아니다. 하지만, 어떤 치과 의사의 임상 선호도가 간접 치관내 수복치료를 더 선호한다면, 이를 온톨로지에 추가하여 맞춤 지식 베이스를 구성할 수 있다. 이처럼, 우식증의 이환 부위가 구치의 인접면일 경우 직접 치관내 수복치료를 제한하고자 한다면 다음과 같은 axiom을 온톨로지에 추가하기만 하면 된다.

Class: Direct_Intracoronar_Restoration

SubClassOf:

located_in some

(Surface_of_Tooth and (not Proximal_Surface_of_Tooth that part_of some Posterior_Tooth))

일반적 치과보철 치료 개념의 표현에 덧붙여, 간단한 임상진료지침 (clinical practice guideline)을 TPSS 온톨로지에 포함하고자 한다. 임상진료지침이란 특정한 임상 상황에서 의사와 환자의 의사결정을 돕기 위해 체계적으로 개발된 진술을 뜻한다. 임상진료지침의 목적은 가능한 체계적이고, 재현가

능하고, 오류가 없는 진료를 하기 위함이다. 치과보철 치료에 대한 기존의 임상진료지침은 없었으나, 향후 임상진료지침을 추가할 수 있는 여지를 남기기 위해서 TPSS온톨로지에 템플릿 형태로 추가하였다.

이 연구는 기존의 임상진료지침 형식들 (예를 들어 GLIF [70], EON [71], SAGE [72], and Proforma [73])중에 하나를 따르지 않고, 웹 표준언어인 OWL과 SWRL (semantic web rule language) 형식을 따랐다. 이는 기존의 TPSS온톨로지가 OWL 형식으로 저작되었기 때문에 쉽게 통합할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 또한, 웹 표준언어는 별도의 실행 엔진을 구현할 필요가 없이 독립적인 실행이 가능하기 때문에 재사용이나 공유하는데 이점이 있다. 서술논리에 기반한 OWL을 이용하여 임상의 서술적 지식 (declarative knowledge)을 표현할 수 있고, 규칙 언어인 SWRL을 이용하여 임상의 절차적 지식 (procedural knowledge)을 표현할 수 있다. 최근의 한 연구는 당뇨병망막변증 (diabetic retinopathy)에 관한 임상진료지침을 관리하는데 OWL-SWRL 통합 방법을 사용함으로써 얻는 장점에 대해서 보고하였다 [74]. 그 외에도 고혈압 관리 [46], 제왕 절개에 관련한 임상 흐름 관리 [75], 승모판 일탈 증후군 (mitral valve prolapse syndrome)의 진단 [76], 중환자실에서 진정치료에 관한 임상진료지침 [77] 등에 적용한 사례가 있다. 치과분야에서는 상실된 치아의 보철적 수복에 관한 개념적 표현방법으로 OWL과 SWRL을 함께 사용함으로써, 임상의 다양한 지식을 표현할 수 있었다고 보고한 연구가 있었다 [31]. 따라서, 이 연구는 상호운용성과 간결함의 장점을 가지는 OWL-SWRL 통합 형식으로 간단한 임상진료지침을 표현하였다.

구체적으로, 임상진료지침을 표현하기 위하여 이 연구에서 접근한 템플릿 형태의 온톨로지 구조는 Patient, ClinicalContext, ClinicalAction의 세 가지 클래스로 이루어진다. 각 환자는 Patient클래스의 인스턴스가 되고, 질병

과 이환부위에 관한 인스턴스를 가지고 있다. ClinicalContext는 ClinicalAction이 일어날 수 있는 임상적인 상황에 대한 정보를 가지고 있다. 예를 들어, 하악 구치부의 완전상실과 같은 임상 상황이 될 수 있을 것이다. ClinicalAction은 치료 방법에 관한 정보를 가지고 있다. **has_Indication** 속성은 ClinicalAction 클래스와 ClinicalContext 클래스를 연결하였다. **isIndicationOf** 속성은 **has_Indication** 속성의 역의 속성 (inverse property)으로 정의하였다. 이처럼, **hasClinicalContext/isClinicalContextOf** 속성의 짝은 Patient 클래스와 ClinicalContext클래스를 연결하고, **hasTxOption/isTxOptionOf** 속성의 짝은 ClinicalContext 클래스와 ClinicalAction 클래스와 연결하였다. 여기에서 **hasTxOption** 속성은 속성 체인 (property chain)으로 정의하였는데, 그림 10에서 보는 바와 같이 **hasClinicalContext o isIndicationOf**의 형태이다. 이 속성 체인의 의미는 환자가 어떤 임상적인 상황에 있고, 그 임상적인 상황이 어떤 치료 방법의 적응증이 된다면, 이 환자는 그 치료 방법을 선택할 수 있다는 의미이다.

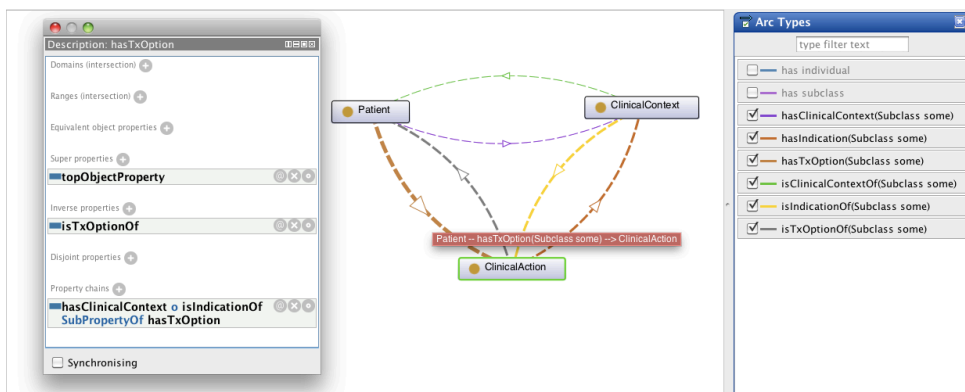


그림 10. Patient, ClinicalContext, ClinicalAction 클래스의 연결관계

이 연구의 임상진료지침에는 부분 무치악 환자에게 권장되는 치과보철 치료방법 [78]을 포함하였다. 고정성 부분 의치 치료는 구치의 무치악 부위의 공간이 3개 치아의 공간이거나 이보다 적을 때로 한정하여 추천되는 치료이다. 가철성 부분 의치 치료는 어떤 무치악 부위에도 가능하나, 일반적으로 3개 치아를 초과한 무치악 공간에 추천되는 치료이다. 이와 같은 임상 지식을 온톨로지로 표현하기 위해서는 숫자에 대한 제한이 표현가능해야 한다. 이와 같은 제한을 두는 것을 QCR (qualified cardinality restriction)이라고 한다. QCR은 어떤 속성이 가질 수 있는 인스턴스의 수를 제한하는 것이다. 이러한 역할을 담당하는 연산자로 min, max, exactly 가 있다.

`lacksPart min 4 LeftLower_Posterior_Tooth`

위에 제시한 구문은 이 연구의 온톨로지에서 QCR을 활용한 예이다. 이는 lacksPart 속성이 LeftLower_Posterior_Tooth 클래스의 인스턴스를 최소 4개 이상을 가져야 한다는 의미이다. 구체적으로, 6분악중의 하나인 하악 좌측 구치 부위에 상실된 치아의 숫자가 4개 이상이어야 한다는 의미이다. 이런 상황에서는 가철성 부분 의치 또는 치과 임플란트가 치료 대안이 될 수 있을 것이다.

상실 (missing)의 개념을 온톨로지로 표현하는 것은 어려운 문제이다. 실제 의료 현장의 의무 기록에서는 ‘상실’의 개념을 굉장히 많이 사용하고 있다. 맥박 없음 (absence of pulse), 외과적 수술이 시행되지 않음 (surgical procedure not performed) 등과 같은 표현을 의무 기록해야 하는 것이다. SNOMED-CT 2006년 1월 버전에는 “absence”를 포함하는 용어가 7272개, “negative”를 포함하는 용어가 1058개, “not”을 포함하는 용어가 1137개가 있다 [79]. 다른 대부분의 용어 시스템도 상실의 개념을 absence, negative, not을 이용하여 표현하고 있다. 예를 들어, “absent leg”, “kidney not palpable”,

“joint stress test negative”와 같은 용어를 부가적으로 생성하는 방법으로 상실
을 표현하고 있다. 용어나 개념의 수가 늘어나고, 각 개념 간의 의미적인 연결
이 일어나지 않는다. 따라서, 상실의 의미를 갖는 속성으로 각 개념 간을 연결
할 필요가 있다.

이 연구에서는 상실의 개념을 표현하기 위해 lacksPart 속성을 도입하
였다. 이 속성은 Ceusters 등이 제안하였다 [79]. part_of 속성과 비슷하게 양
의 관계 (positive relation)를 가지지만, lacksPart 속성의 도메인 클래스의 인
스턴스는 레인지 클래스의 인스턴스를 그 부분으로서 전혀 가지지 않는 것으
로 정의되었다. 상실을 표현하는 다른 방법으로 서술 논리의 not 연산자를 쓰
는 방법도 있겠으나, 이는 익숙하지 않은 사용자에게 혼란을 야기할 수 있다
[80]. 따라서, 필요할 때마다 상실의 개념을 늘리기 보다는 양의 관계를 갖는
lacksPart 속성을 이용하면 온톨로지로 상실 개념을 손쉽게 표현할 수 있다.

3.2.5. 요약

이 절에서는 개발된 TPSS 온톨로지의 전반적인 요약을 할 것이다. 전체 공리 (axiom)의 수는 19695개 이고, 클래스는 3534개, object 속성은 26개, data 속성은 8개, 인스턴스 (instance = individual)는 21개이다 (그림 11). 특히 annotation 속성이 9981개로 이 온톨로지의 재사용이 용이할 수 있도록 개발하였다. 인스턴스의 수가 적은 이유는 이 온톨로지가 의사결정 지원 시스템의 한 부분을 담당하기 때문이다. TPSS 온톨로지는 클래스와 그 공리가 더욱 중요하다.

The image shows two screenshots of a software window titled 'Ontology metrics'. The left screenshot shows a summary of metrics, while the right screenshot shows a detailed breakdown of axiom counts.

Metrics	
Axiom	19695
Logical axiom count	5862
Class count	3534
Object property count	26
Data property count	8
Individual count	21
DL expressivity	SRIF(D)

Class axioms	
SubClassOf axioms count	5412
EquivalentClasses axioms count	51
DisjointClasses axioms count	213
GCI count	0
Hidden GCI Count	78

Object property axioms	
SubObjectPropertyOf axioms count	11
EquivalentObjectProperties axioms count	0
InverseObjectProperties axioms count	6
DisjointObjectProperties axioms count	0
FunctionalObjectProperty axioms count	10
InverseFunctionalObjectProperty axioms count	0
TransitiveObjectProperty axioms count	1
SymmetricObjectProperty axioms count	0
AsymmetricObjectProperty axioms count	0
ReflexiveObjectProperty axioms count	1
IrreflexiveObjectProperty axioms count	0
ObjectPropertyDomain axioms count	4
ObjectPropertyRange axioms count	8
SubPropertyChainOf axioms count	0

Data property axioms	
SubDataPropertyOf axioms count	0
EquivalentDataProperties axioms count	0
DisjointDataProperties axioms count	0
FunctionalDataProperty axioms count	7
DataPropertyDomain axioms count	4
DataPropertyRange axioms count	8

Individual axioms	
ClassAssertion axioms count	42
ObjectPropertyAssertion axioms count	0
DataPropertyAssertion axioms count	84
NegativeObjectPropertyAssertion axioms count	0
NegativeDataPropertyAssertion axioms count	0
SameIndividual axioms count	0
DifferentIndividuals axioms count	0

Annotation axioms	
AnnotationAssertion axioms count	9981
AnnotationPropertyDomain axioms count	0
AnnotationPropertyRangeOf axioms count	0

그림 11. TPSS 온톨로지에서 사용된 클래스, 속성, 인스턴스의 수

거의 2만개의 공리 중에, 임상 의사결정 지원 시스템에서 실제로 활용하는 부분은 많지 않다. 그럼에도 불구하고, 이 연구의 부분적인 목적이 치과

보철 치료에 관한 개념들을 포괄적으로 다루어 재사용성을 높이기 위한 것이므로 온톨로지의 개발은 되도록 포괄적인 내용이 되도록 노력하였다.

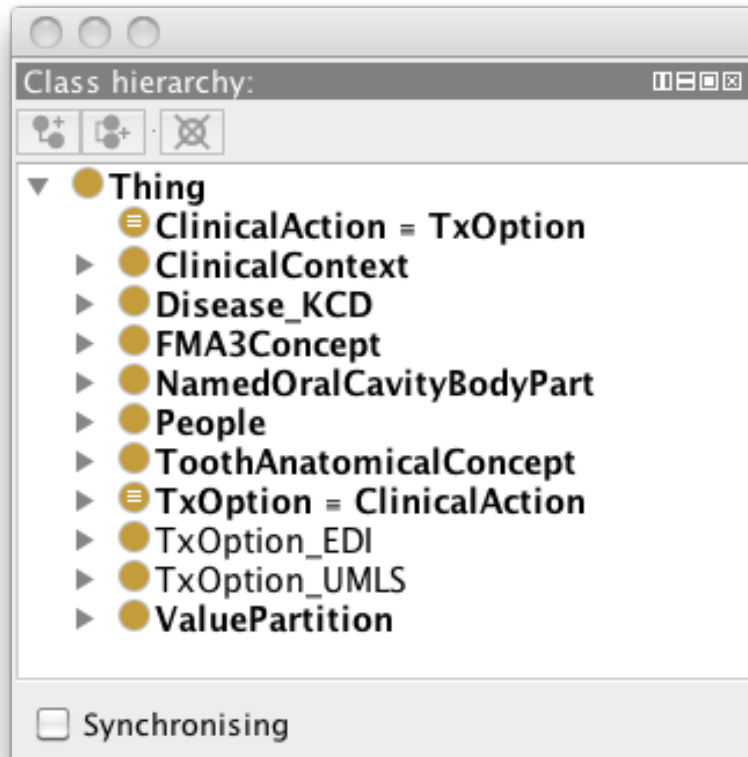


그림 12. TPSS 온톨로지의 최상위 클래스

TPSS 온톨로지의 클래스의 구성은 그림 12와 같다. Disease_KCD, ClinicalContext 클래스에 질병과 증상의 개념이 포함되어 있고, FMA3Concept 클래스에는 FMA 온톨로지로부터 가져온 클래스들이 포함되어 있다. NamedOralCavityBodyPart와 ToothAnatomicalConcept 클래스에는 이 연구의 목적에 맞도록 변형된 클래스들이 포함되었다. FMA 온톨로지가 방대한 계층을 이루기 때문에, 쉽게 치아 관련 해부학 구조 개념에 접근하기 위해서다. TxOption, ClinicalAction은 이 연구를 통해서 개발된 클래스이고,

TxOption_EDI 와 TxOption_UMLS는 참조를 위해 가져온 클래스이다. People 클래스에는 대표적으로 Patient 클래스가 포함되어, 각 환자의 질병과 이환부위를 저장할 수 있도록 하였다.

TPSS 온톨로지의 클래스를 온톨로지 내에서 사용 빈도에 따라 cloud 형태로 시각화하면 그림 13과 같다. 가장 높은 빈도로 사용하는 클래스는 EDI_Code, EDI_Concept, UMLS_Code, UMLS_Concept 으로 나타났다. 이 네가지 클래스는 재사용과 호환성을 위해 마련된 것이기 때문이다. 다음 빈도로 나타나는 클래스는 치과보철 치료와 관련된 클래스와 치아 번호 클래스이다.

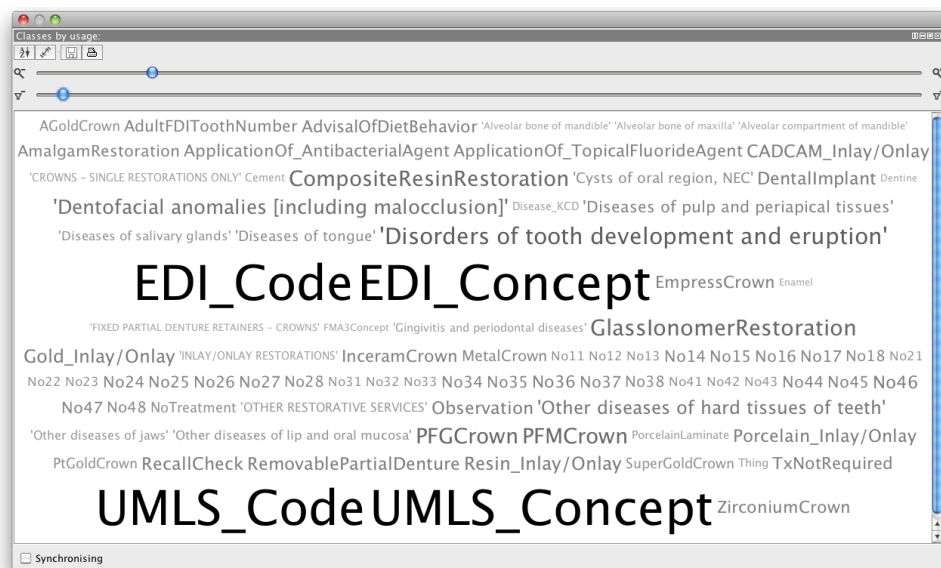


그림 13. 클래스의 사용 빈도에 따른 cloud view

가장 많이 사용하는 속성은 hasIndication, located_in, hasEDI_Code, hasUMLS_Code 이다 (그림 14). 재사용성을 위해 마련된 hasEDI_Code와 hasUMLS_Code 속성을 제외하면, hasIndication과 located_in 속성이 이 온

톨로지의 성격을 말해준다. 질병에 따른 적응증과 질병의 이환 부위를 통해서 적합한 치과보철 치료 방법을 추론하기 위해 위의 두가지 속성이 많이 사용되었다.

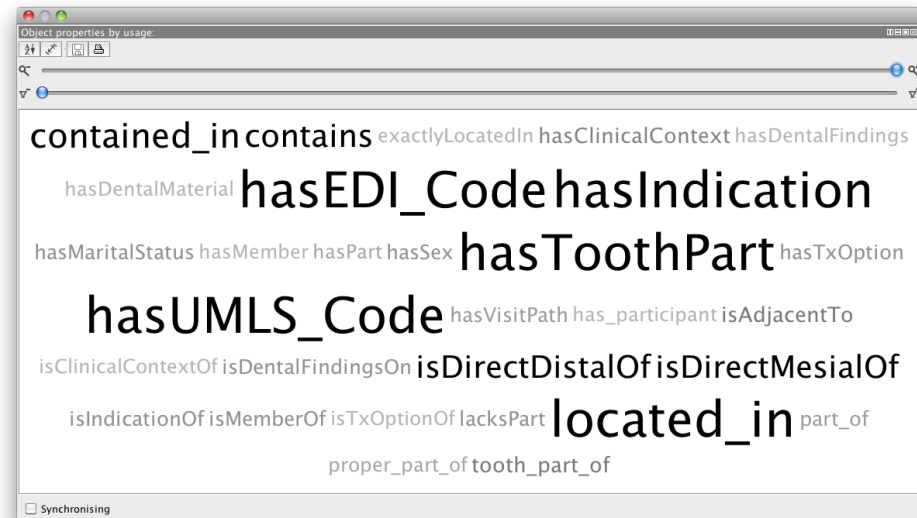


그림 14. 속성의 사용 빈도에 따른 cloud view

3.3. AHP 적용 과정

이 연구에서 AHP 방법은 다음과 같은 세단계를 거쳐서 이루어졌다: 1) 문제를 계층화하여 모델링; 2) 의사결정 요소 간의 쌍대비교 (pairwise comparison)로 판단자료를 수집하고 고유벡터 방법을 사용하여 의사결정 요소의 상대적 가중치 계산; 3) 의사결정 요소의 상대적인 가중치를 종합하여 의사결정에 활용.

첫번째, 이 연구의 의사결정 문제를 계층화하여 모델링하였다. 이 계층은 의사결정 목표 (goal), 기준 (criteria), 대안 (alternative) 으로 구성되었다 (그림 15). 이 연구의 의사결정 목표는 환자에게 가장 적합한 치과보철 치료 방법을 선택하는 것이다. AHP 계층 모델에서 대안은 환자의 질환과 그 이환 부위를 기반으로 이 시스템의 온톨로지를 추론한 것이다. 치아 우식증 질환에 대한 대안의 예는 그림 15에서 보는 바와 같이 gold inlay restoration, composite resin filling, amalgam filling이 될 수 있을 것이다. AHP 계층 모델에서 기준 요소는 환자의 선호도가 되었다. 이 연구에서 환자의 선호도를 측정하기 위한 지표로 네가지를 선택하였다: 치료의 편의성; 심미성; 가격; 수명 (longevity). 이 지표는 선호도를 기반으로 의료 서비스 시장을 세분화한 연구 [81,82]에서 주로 참조하였다. 환자 선호도 지표 중에서 치료의 편의성은 환자의 내원횟수로 좀더 구체화하였다.

AHP 계층 모델에서의 기준과 대안은 의사결정자에 따라 변화하거나 추가될 수 있다. 이런 작업이 기존 시스템에서는 부담스러운 일이 될 수 있다. 그러나, 이 연구에서 기준과 대안의 추가와 삭제는 온톨로지에서의 담당함으로써, 지식의 변화에 능동적으로 대처할 수 있게 하였다. 이는 지식 베이스와 추론 엔진의 분리에서 얻는 이득이다.

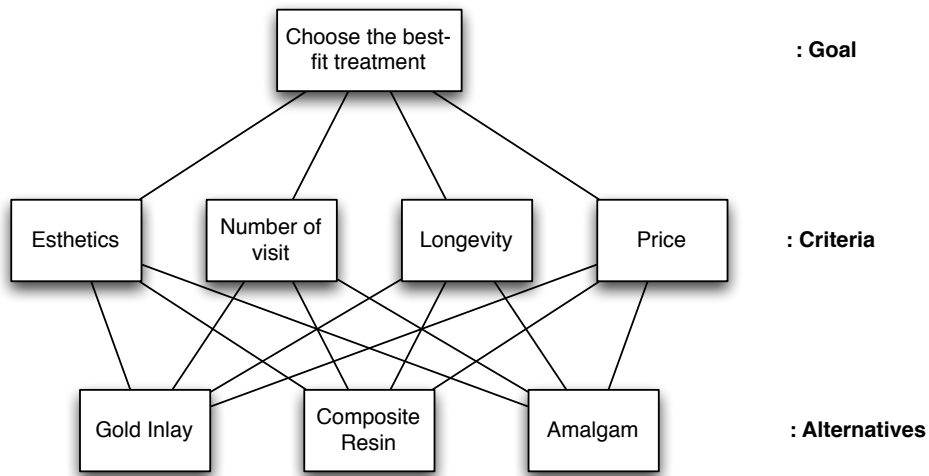


그림 15. AHP 방법에서 치과보철 치료 의사결정 문제를 계층화한 모습

두번째, 의사결정 요소 간의 쌍대비교 (pairwise comparison)로 판단 자료를 수집하고 고유벡터 방법을 사용하여 의사결정 요소의 상대적 가중치를 계산하였다. 의사결정 요소 간의 쌍대비교는 두 유형으로 이루어진다. 의사결정 목표를 달성하기 위한 기준 요소의 중요성에 대한 비교와 의사결정 기준을 만족시키는 의사결정 대안들의 능력에 대한 비교이다. 이 연구에서는 의사가 후자의 비교를 시행하게 되었다. 왜냐하면, 환자는 치과보철 치료 대안들이 어떻게 환자 선호도 지표에 적합한지 평가할 수 없기 때문이다. 치과보철 치료 대안의 환자 선호도 지표에 대한 쌍대 비교는 실제 임상에 참여하고 있는 여러 치과의사들이 시행하였다. 여기에서 구해진 쌍대 비교 값들을 온톨로지의 각 클래스의 속성 값으로 입력하였다. 쌍대 비교 값의 고유벡터 값을 구하여 대안의 상대적 가중치를 계산하는 것은 시스템에서 자동적으로 수행하게 하였다.

그림 16은 이렇게 구해진 Inlay 치료와 아말감 충전 치료의 상대적 가중치를 비교해서 보여주고 있다.

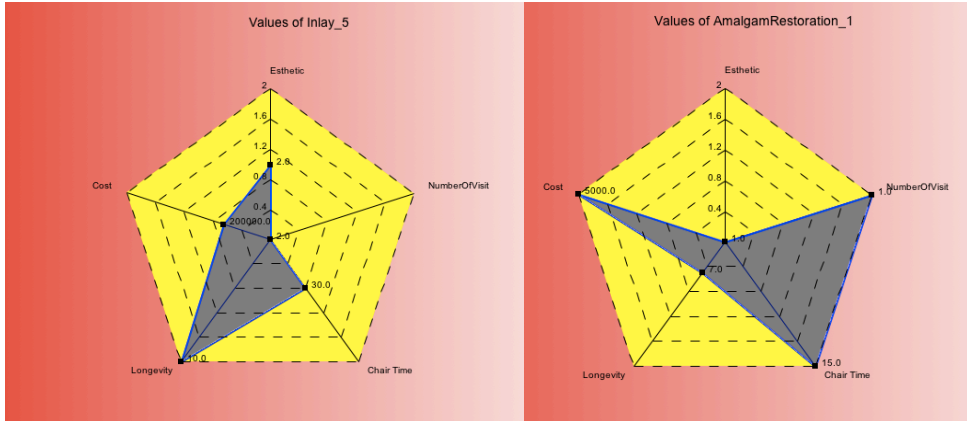


그림 16. 의사가 평가한 대안의 상대적 가중치

의사결정 대안들의 쌍대 비교 값은 온톨로지의 data 속성을 이용하여 저장하였다. 사용한 data 속성은 표 3에 보는 것처럼 치료의 편의성, 심미성, 가격, 수명에 관련한 속성이다. 이 data 속성은 도메인 값으로 TxOption 클래스로 가지고, 레인지(range) 값으로 integer (XML에서 data 표현을 위해 정의한 값으로 음의 정수, 0, 양의 정수를 포함)를 가진다. hasEstheticValue 속성은 치과 보철 치료의 심미성에 관한 정량적인 지표의 상대적 중요도를 data 값으로 가지고, hasLongevityOfRestoration 속성은 치과 보철 치료의 수명을 상대적인 관점에서 보았을 때 비교 값을 가진다. hasNumberOfVisit 속성은 치료의 편의성을 측정하기 위한 참조 지표로서 치료완료까지 내원해야하는 횟수를 값으로 가진다. hasPrice 속성은 치과 보철 치료에 대해 환자가 부담해야 하는 비용을 값으로 가지며, 이에 속하는 금액은 치과마다 상이할 것이다. 금액을 원화 단위 그대로 data 값으로 가짐으로써 치과마다 상이한 가격에 대응할

수 있는 유연한 구조를 만들었다. 물론 앞의 세개의 속성과 data의 범위가 다르므로 정규화할 필요가 있고, 이는 시스템 내의 로직에서 처리하였다. 그림 17은 쌍대 비교 값이 입력된 치과보철 치료 인스턴스의 한 예를 보여주고 있다.

Data 속성	Data 값	의미
hasEstheticValue	상대적인 비교 값	치료 방법의 상대적인 심미적 중요도
hasLongevityOfRetoration	상대적인 비교 값	치료 방법의 상대적인 수명
hasNumberOfVisit	상대적인 비교 값	치료 방법에 따른 치과 내원 횟수
hasPrice	절대적인 값 (가격)	치료 방법에 드는 비용

표 3. 쌍대 비교 값을 입력하기 위한 data 속성

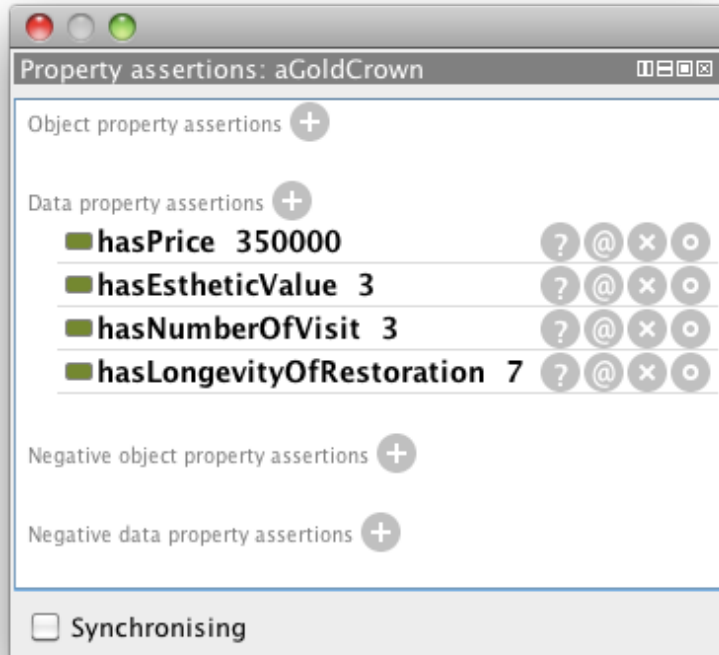


그림 17. aGoldCrown 인스턴스에 쌍대비교 값을 입력한 화면

의사결정 목표를 달성하기 위한 기준 요소의 중요성에 대한 비교는 환자가 시행할 것이다. 이는 각 환자의 선호도 지표에 대한 상대적인 가중치를 구하기 위한 작업이므로, 사전에 미리 입력할 수 없는 값이다. 4가지의 선호도 지표 (치료의 편의성, 심미성, 가격, 수명)에 대한 쌍대비교는 총 6번 시행하게 된다. 이 연구의 시스템에서는 슬라이더 유저 인터페이스를 이용하여 손쉽게 쌍대비교를 할 수 있도록 하였다. 그림 18은 쌍대비교를 위한 슬라이더 유저 인터페이스의 예시를 보여주고 있다. 환자가 쌍대비교를 완료하면, 고유벡터 방법을 이용하여 기준 요소간의 상대적인 가중치를 구할 수 있다. 이 가중치 값이 환자의 선호도를 나타내는 값이 된다.

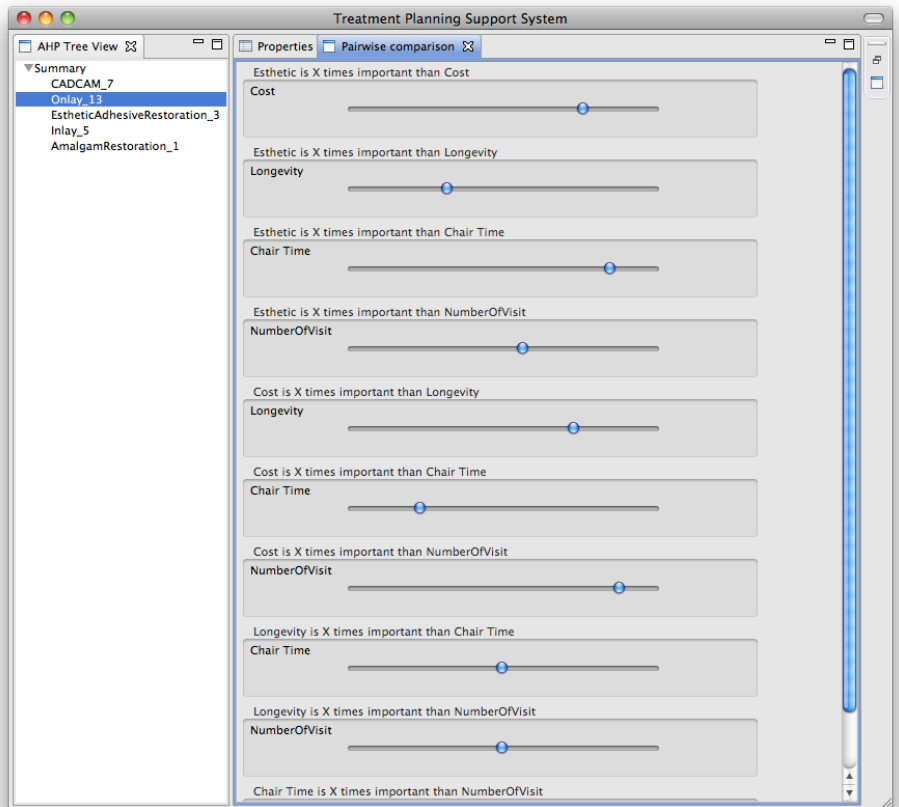


그림 18. 쌍대비교를 위한 슬라이더 인터페이스

세번째, 의사결정 요소의 상대적인 가중치를 종합하여 의사결정에 활용하였다. 구체적으로 두번째 단계에서 시행한 기준과 대안의 상대적인 가중치를 곱한 값을 이용하여 최종 의사결정에 사용하였다. 이 값은 의사결정 목표를 달성하기 위한 대안의 상대적인 능력으로 해석할 수 있다. 구현된 시스템에

서는 이 값을 막대 그래프의 형태로 시각화하였다. 이는 의사와 환자가 공유의 사결정을 하기 위해 적합한 시각화 자료가 될 것이다.

3.4. 구현

이 시스템은 오픈 소스인 Adobe Flex를 이용하여 구현하였다. OWL API [83]를 이용하여, 온톨로지의 생성, 저장, 삭제 등을 구현하였다. Pellet 추론기 (reasoner)를 이용하여 온톨로지의 일관성을 검토하였고, 클래스 간의 포함관계 (subsumption relationship)를 추론하였다. AHP 방법을 구현하기 위해 java언어를 이용하여 로직을 구성하였고, 웹 어플리케이션을 구동하기 위한 서버로는 tomcat을 사용하였다. 그림 19는 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템의 웹 어플리케이션 구현 모습이다.

각 세부 기능은 다음과 같다. 그림 19의 상단에 있는 버튼은 새로운 환자를 생성, 저장하고, 언어를 영어나 한국어를 선택하는 기능을 한다. 좌측의 창에는 저장된 환자들의 이름이 나열된다. 그 아래에는 이름, 나이, 성별, 결혼 유무, 방문 경로와 같은 환자의 인구통계적 변수가 표시된다. 화면 중앙에는 치아의 모습이 보이고, 그 상단으로 환자가 가진 질병이나 증상을 선택할 수 있는 풀-다운 메뉴가 있다. 크게 상실, 치아 우식증, 기존 보철물의 상태를 선택할 수 있다. 상실을 선택하고 그 이환 부위의 치아를 클릭하면 ‘M’ 아이콘이 그 치아의 우측 상단에 나타나 사용자에게 시각적으로 도움을 준다. 치아 우식증의 경우엔 ‘D’, 기존 보철물의 경우는 ‘F’가 나타난다. 화면 중앙의 하단에는 이환 부위 치아의 정보가 표시되고, 그 아래로 각 선호도 지표를 두개씩 짝지어 비교, 입력할 수 있는 슬라이더 인터페이스가 구현되어 있다. 그 오른쪽 화

면은 온톨로지 추론한 치료 대안들을 나열해주고, 각각 AHP 방법에서 도출한 최종 중요도를 막대 그래프 형태로 보여준다.

이 인터페이스를 이용하는 흐름은 다음과 같다. 먼저 최초 신환인 경우는 환자 등록을 하고, 기존 구환인 경우는 리스트에서 스크롤하면서 선택하거나, 검색을 하여 선택한다. 신환은 환자 정보를 입력해야 한다. 구체적으로 이름, 나이, 성별, 결혼유무, 주소, 우편번호, 방문 경로의 정보를 입력한다. 다음은 환자의 질병이나 증상을 선택한다. 화면 중앙의 치아 그림 위의 메뉴를 클릭하면, 세부적인 선택을 할 수 있다. 이렇게 선택을 하면, 온톨로지는 이 질병이나 증상에 따른 치료 대안들을 추론하여 우측 하단에 나열해준다. 이 때는 이 질병의 이환부위가 입력되지 않았기 때문에 매우 넓은 범위의 치료 대안들이 나열된다. 다음으로 이환부위 치아를 선택한다. 이렇게 질병과 이환 부위가 모두 선택이 되면 온톨로지가 추론한 치료 대안이 좀더 좁혀져서 나열된다. 이후에는, 환자 선호도를 입력해야 한다. 중앙 하단의 슬라이더 인터페이스를 이용하여 환자는 선호도 지표를 쌍대비교하면 된다. 슬라이더를 중앙에 위치시키면 두 선호도는 동일한 중요성을 갖고 있다는 의미이다. 환자가 슬라이더를 한쪽으로 치우치게 위치시키면, 슬라이더 눈금에 가까운 선호도 지표가 먼 선호도 지표보다 중요하다는 것을 의미한다. 이런 방식으로 여섯가지 쌍대비교를 마무리하면 치료 대안에 대한 최종 중요도가 나타난다. 이 중요도를 환자와 의사가 참조하여 공유의사결정을 내릴 수 있다.

New Patient

Save

Decision Tree

Change Language

Missing

Caries_of_dentine

TxOption

Cancel

배선복

심경화

최기웅

김경진

park

손상현

강윤정

신재운

박상오

연미라

오준형

송수진

조의선

강윤정

함씨

오민애

박지영

박선규

Name : park

Age : 34

Sex : Woman

Marriage : married

VisitPath : accessibility

No18 No17 No16 No15 No14 No13 No12 No11

No21 No22 No23 No24 No25 No26 No27 No28

No31 No32 No33 No34 No35 No36 No37 No38

No41 No42 No43 No44 No45 No46 No47 No48

isIndication some Caries_of_dentine and locatedIn some No46

Tooth Information

Tooth Number : No46

Tooth State : Caries_of_dentine

Treatment Pla...

EstheticValue

Price

NumberOfVisit

EstheticValue

NumberOfVisit

EstheticValue

LongevityOfRestoration

LongevityOfRestoration

LongevityOfRestoration

Price

Price

NumberOfVisit

Treatment Options

C4.5

AHP

Gold_Inlay/Onlay

CADCAM_Inlay/Onlay

Nothing

Resin_Inlay/Onlay

AmalgamRestoration

CompositeResinRestoration

EstheticAdhesiveRestoration

Porcelain_Inlay/Onlay

GlassionomerRestoration

0%

0%

0%

0%

0%

62.79%

0%

0%

0%

10%

13%

0%

13%

11%

16%

0%

15%

16%

그림 19. 구현된 웹 어플리케이션의 모습

4. 연구 결과

연구결과에서는 이 연구에서 개발한 공유의사결정 지원 시스템을 평가하고자 한다. 일관성 분석을 통해서 이 시스템에서 사용한 온톨로지를 평가하고, 임상 시나리오를 통해 전체 시스템을 평가하고자 한다.

4.1. 온톨로지의 일관성 분석

이 시스템에서 개발된 TPSS 온톨로지에 대한 일관성 분석은 다음과 같이 2가지로 나뉘어서 이루어졌다.

- 1) 자동화된 일관성 분석
- 2) 추론된 클래스와 인스턴스를 직접 살펴 보면서 일관성 분석

첫번째, 자동화된 일관성 분석은 Pellet 추론기 (reasoner)에서 기본적으로 제공하는 기능이다. 이 추론기는 온톨로지의 모델과 그의 객체화에 비일관적인 부분이 있는지 분석해주고 추론해주는 도구이다. Pellet 추론기를 이용하여 TPSS 온톨로지를 추론한 결과, 그림 20에서 보는 바와 같이 일관성을 보인다고 보고하였다.

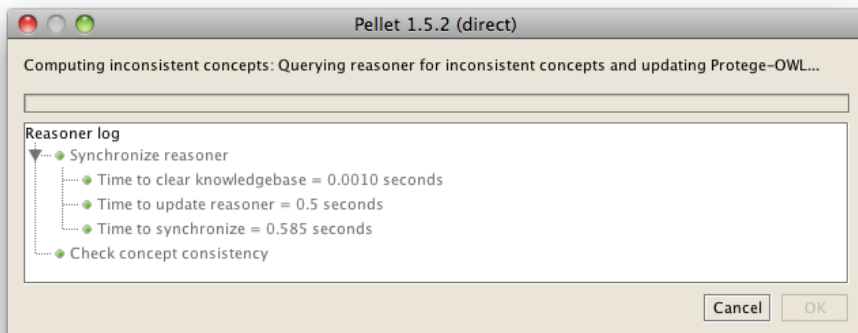


그림 20. Pellet 추론기를 이용한 일관성 분석 결과

두번째 방법인 직접 살펴보는 작업은 온톨로지를 추론한 후에 클래스와 인스턴스가 일관된 위치에 있는지를 살펴보는 것이다. Pellet 추론기를 이용하여 추론해본 결과, TPSS 온톨로지의 추론된 서브 클래스는 오직 이행성 규칙 (transitive closure)을 갖는 클래스의 하위에서만 발견되었고, 다른 곳에서는 발견되지 않았다. 인스턴스도 서브 클래스에 인스턴스로 존재하는 경우에만 상위 클래스의 인스턴스로 추론이 되었고, 다른 곳에서는 발견되지 않았다. 그림 21은 no44 인스턴스가 클래스 계층을 따라서 적절한 클래스로 이행되는지를 보여주고 있다. no44 인스턴스는 Organ_with_organ_cavity, Tooth, Premolar tooth, Lower secondary premolar tooth, Lower first secondary premolar tooth, No44 클래스에 포함되었다. 이는 모두 참인 결과이다. 결과적으로, 이 시스템의 TPSS 온톨로지는 일관성을 가지고 있다고 볼 수 있다.

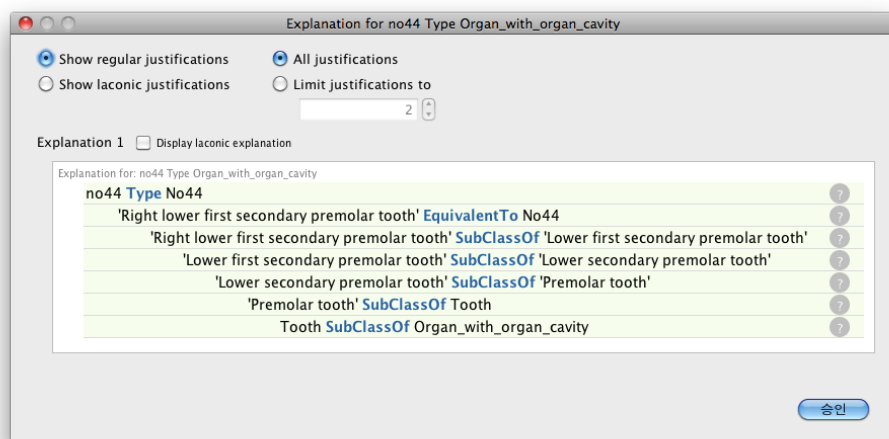


그림 21. no44 인스턴스가 Organ_with_organ_cavity 클래스에 올바르게 추론된 모습

4.2. 임상 시나리오

가상의 임상 시나리오를 통해서, 이 시스템을 평가하고자 한다. 실제 일어날 수 있는 사례를 기반으로, 이 시스템이 어떻게 치과치료에 대한 공유의사결정을 내릴 수 있도록 지원해주는지 살펴보고자 한다.

4.2.1. 임상 시나리오 1

박씨 부인은 오른쪽 아래 첫번째 영구치의 가벼운 치통을 주소로 치과에 내원하였다. 의사는 구강내 검사를 하고, 상아질 우식증으로 진단을 내렸다.

이 사례를 기술논리 (description logic) 기반의 질의 (query)로 만들어 이 시스템의 온톨로지를 이용하여 추론한다. 그림으로써, 환자의 의학적 상태에 적합한 보철치료 대안들이 도출된다. 위의 2문장을 기술논리 기반의 질의로 만들면 다음과 같다:

```
has_Indication    some    Dentin_Caries    and    located_in    some  
Right_Lower_First_Molar
```

위 질의를 만족시키는 서브클래스들은 그림 22에서 보는 것과 같이 Amalgam Filling, Composite Resin Filling, Gold Inlay Restoration이다. 서브클래스 포함관계 (subsumption relation)로 인해 마지막 잎 노드 (leaf node)인 세습된 클래스 (descendent class)는 다음과 같다: Gold Inlay/Onlay, CAD/CAM Inlay/Onlay, Resin Inlay/Onlay, Amalgam Restoration, Composite Resin Restoration, Esthetic Adhesive Restoration, Porcelain Inlay/Onlay, Glass Ionomer Restoration 이다. 이 클래스들이 위 질의의 최종 답변이 된다. 한편, 박씨 부인에게 상악 우측 견치에 상아질 우식증이 발견

되었다면 위 클래스에서 Amalgam Filling 과 Gold Inlay Restoration은 제외 될 것이다.

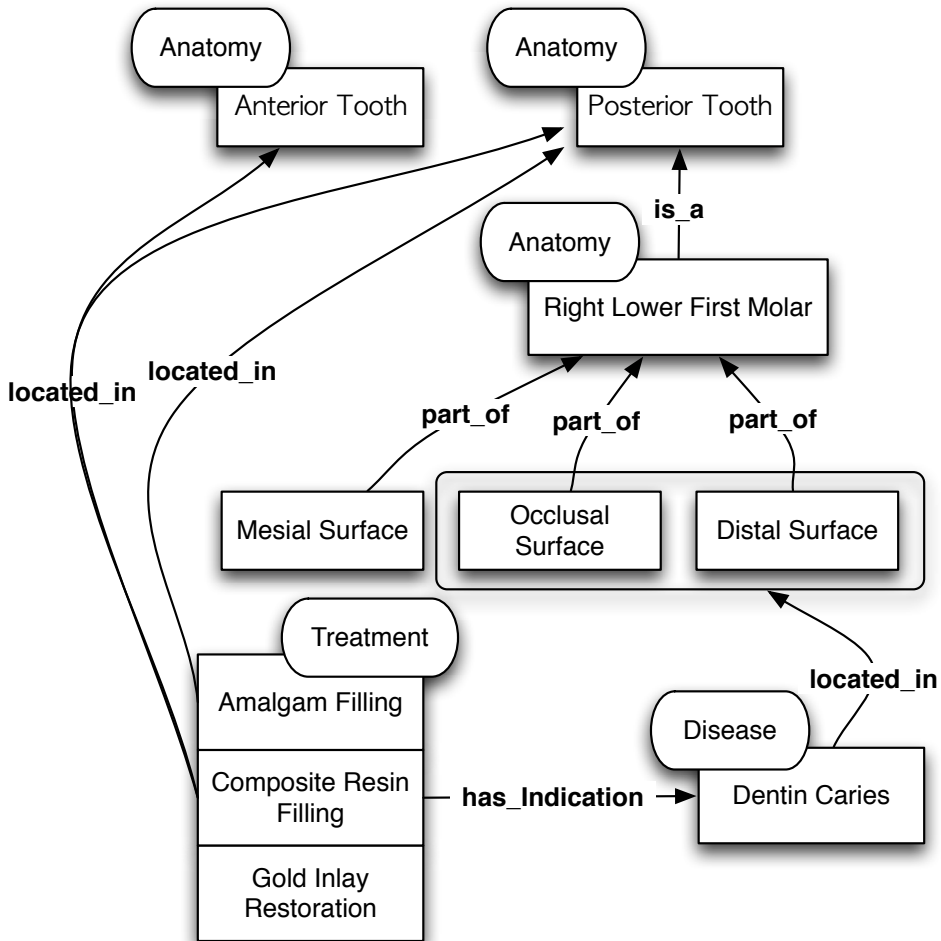


그림 22. 임상 시나리오 1에 사용된 클래스와 속성의 관계

위와 같이 의사의 치과보철 치료대안들이 도출되면, 공유의사결정을 위해 환자의 선호도를 측정해야 한다. 박씨 부인은 진료가 오래 걸리는 것을 원하지 않고, 저렴한 치료를 선호한다고 하자. 더불어, 보철물의 수명이나 심미성에 대해서는 크게 신경쓰지 않는다고 하자. 이러한 선호도는 AHP 방법에

의한 쌍대 비교 (pairwise comparison)를 통해서 각 보철치료 대안에 가중치를 부여한다. 그 결과로 나타난 보철치료 대안은 직접 치관내 수복물인 GlassIonomerRestoration이나 AmalgamRestoration이 될 것이다 (그림 23).

선호도에 따른 보철치료 대안에 대한 중요도의 변화를 보기 위해, 또 다른 가상 환자를 구성해보기로 하자. 이씨 학생은 박씨 부인과 동일한 질병으로 진단되고, 동일한 위치에 발병했다. 그러나, 이씨 학생은 박씨 부인과는 다르게 보철물의 수명에 대해서 높은 선호도를 보였다고 하자. 이 경우, Gold Inlay/Onlay 가 가장 적합한 치료 대안으로 나타난다. 그림 23에 나타난 바와 같이 동일한 치료대안에 대해서 다른 선호도를 가진 경우 각 보철치료 대안에 대한 가중치가 다르게 표시되어, 환자와 의사간의 공유의사결정을 도울 수 있는 것이다. 이 시스템은 웹 어플리케이션으로 작성되었기 때문에, 환자 선호도의 미묘한 변화에 즉각적으로 상호반응하면서 결과를 시각적으로 표현해줄 수 있다.



그림 23. 동일한 질병과 이환부위를 가졌으나 상이한 환자 선호도를 가진 임상 시나리오의 결과

4.2.2. 임상 시나리오 2

임상 시나리오 1에서는 간단한 보철치료 대안에 대한 선호도의 변화를 살펴보았다. 이번 시나리오에서는 좀더 복잡한 보철치료 대안에 대해서 온톨로지의 관점에서 살펴보고자 한다. 여기서는 박씨 부인이 4개의 구치가 상실되었다고 하자: #44 (하악 우측 제1소구치), #45 (하악 우측 제2소구치), #46 (하악 우측 제1대구치), #47 (하악 우측 제2대구치). 박씨 부인의 현재 상태를 온톨로지 표현해보면 다음과 같다:

Individual: Mrs. Park

Types: Patient

Facts: lacksPart no44, no45, no46, no47

이 시나리오의 목적은 한 4분악에서 인접한 구치의 상실 갯수가 치과 보철치료 대안에 미치는 영향을 알아보는 것이다. 일반적으로, 3개이상의 구치가 한 4분악에서 연속해서 상실되었을 경우, 가철성 국소 의치 (removable partial denture) 또는 치과 임플란트를 추천하게 된다 [78]. 이는 구치의 수가 3개를 넘어간 경우, 인접 지대치의 치주인대의 면적이 수복해야할 치아 3개의 가상 치주인대 면적보다 적어지기 때문에 고정성 국소 의치 (fixed partial denture)의 형태로 제작할 수 없다는 Ante's law에 기반한다. 이러한 과학적 근거를 어떻게 온톨로지로 명세화하여 추론하게 되는지 알아보려고 한다.

우선 가상의 클래스 `Pt_with_morethan3PosteriorToothMissing` 를 다음과 같이 정의한다. 이 클래스는 각 4분악에 `lacksPart` 라는 속성으로 최소 4개와 같거나 이상인 숫자의 인스턴스를 가져야한다는 것을 의미한다.

```
class: Pt_with_morethan3PosteriorToothMissing
```

```
Equivalent To: (lacksPart min 4 LeftLower_Posterior_ Tooth)
```

```
or (lacksPart min 4 LeftUpper_Posterior_ Tooth)
```

```
or (lacksPart min 4 RightLower_Posterior_ Tooth)
```

```
or (lacksPart min 4 RightUpper_Posterior_ Tooth)
```

박씨 부인 인스턴스는 QCR (qualified cardinality restriction)에 의해서 위에 정의한 `Pt_with_morethan3PosteriorToothMissing` 클래스의 인스턴스로 추론이 된다. 이 인스턴스는 아래와 같은 SWRL 규칙에 의해서 `hasClinicalContext` 속성 (property)을 가지고 `Morethan3PosteriorToothMissing` 클래스의 인스턴스에 연결될 것이다.

```
Pt_with_morethan3PosteriorToothMissing(?x)
```

```
-> hasClinicalContext(?x, morethan3PosteriorToothMissing)
```

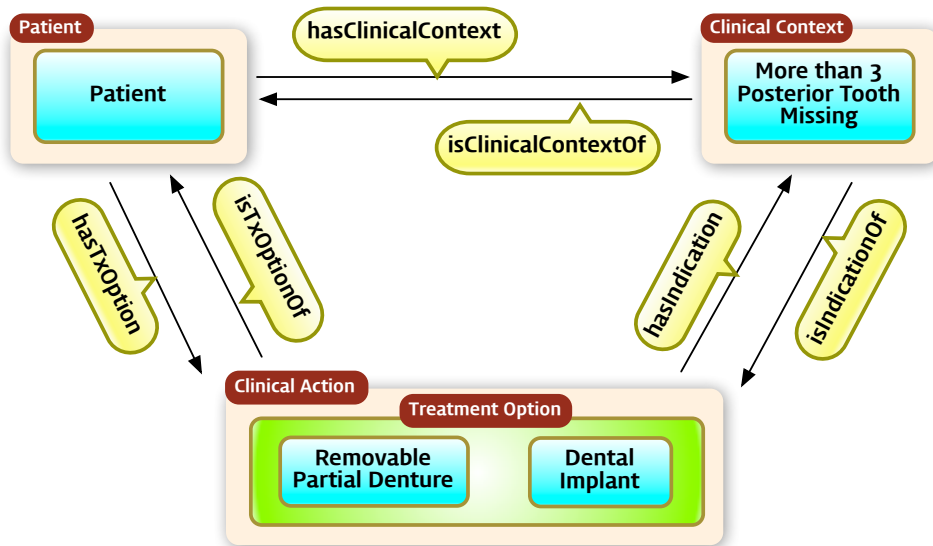


그림 24. 임상 시나리오 2에 사용된 클래스와 속성의 관계

Morethan3PosteriorToothMissing 클래스는 `hasIndication` 속성을 통해서 `Removable_Partial_Denture`와 `Dental_Implant` 클래스에 연결된다 (그림 24). 박씨 부인 인스턴스는 결국 `property chain` 메커니즘에 의해서 `hasTxOption` 속성을 가지고, 이 속성은 `rPD_Tx_Option`과 `implant_Tx_Option` 인스턴스와 연결된다 (그림 25). 이제, 박씨 부인에게는 근거에 기반한 치과보철 치료대안인 가철성 국소 의치와 치과 임플란트 두가지가 제시될 것이다. 임상 시나리오 1과 동일한 방법으로, 박씨 부인의 선호도에 따라 두가지 대안중의 하나로 결정될 것이다.

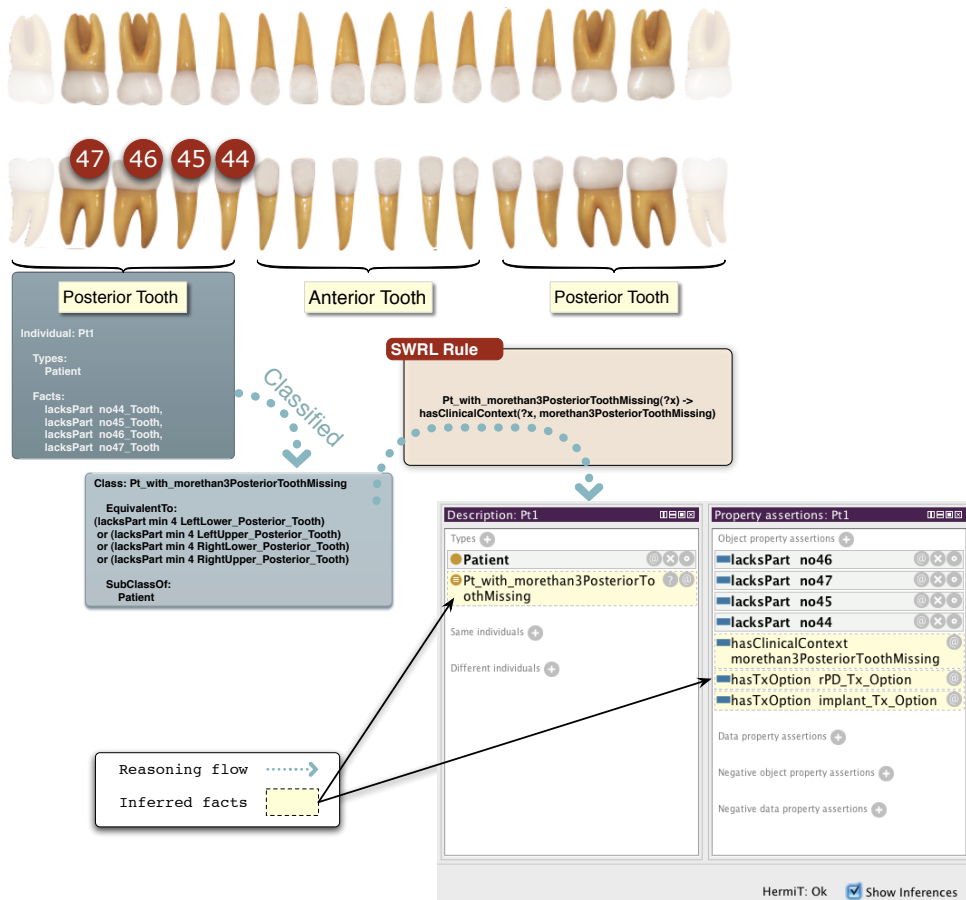


그림 25. 임상 시나리오 2의 추론 흐름과 추론된 결과

5. 고찰

임상 의사결정은 ‘효과적인’ 치료결정이나, ‘선호도에 민감한’ 결정이냐로 구분할 수 있다 [84]. 이 결정은 환자에 대한 혜택과 위험의 정도에 따라 나뉜다. 효과적인 치료결정은 이런 결정을 내림으로써 환자에게 위험보다는 혜택을 훨씬 많이 제공할 수 있다고 환자와 의사 모두가 믿는 경우에 나타난다. 반면, 선호도에 민감한 치료결정은 과학적인 근거에 기반한 혜택-위험 비율이 불확실할 때 나타난다. 이 경우에는, ‘최상의’ 치료란 환자의 선호도에 따라 달라질 것이다.

대부분의 치과보철 치료결정은 선호도에 민감한 결정이다. 이를테면, 구치부 충치로 인한 치아구조의 상실로 저작시 불편감이 있는 경우, 치료의 결정은 아말감 수복이 될 수도 있고, 복합레진 수복이 될 수도 있다. 과학적 근거에 기반했을 때, 아말감 수복 치료결정이 복합레진 수복보다 환자에게 확실한 혜택을 주고 있다고 말하긴 어렵다 [57]. 따라서, 치과보철 치료결정에는 의사의 의학적인 판단 이외에도, 환자의 가치와 선호도 또한 고려해야 한다.

이 연구의 결과인 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템은 선호도에 민감한 치료결정을 도와줄 수 있음을 확인하였다. 이 시스템은 환자에게 과학적 근거에 기반한 치료 대안들을 제시하고, 환자의 선호도에 기반하여 그 대안들의 우선순위를 시각적으로 보여주었다. 결국 환자와 의사간의 쌍방향 의사소통을 도와 최종 치료결정을 내리는데 기여를 할 것이다. 이 장에서는 이 연구 결과의 시사점과 제한점을 살펴보고자 한다.

연구 결과의 시사점은 방법론적인 측면과 실무적인 측면에서 살펴보고자 한다. 방법론적인 측면에서는 크게 세가지 측면에서 시사점을 제시하고자 한다: 온톨로지 기반 지식베이스; AHP 방법; 온톨로지와 AHP의 통합.

방법론적인 측면에서, 온톨로지를 이용하여 지식베이스를 구축한 것은 다음과 같은 시사점을 갖는다. 첫째, 온톨로지는 호환성 (compatibility)과 재사용성 (reusability)이란 이점을 가진다. 이 연구에서 개발된 TPSS 온톨로지와 같은 도메인 온톨로지는 기존 연구에서 검증된 기초 온톨로지를 바탕으로 개발되어야 한다. 검증된 기초 온톨로지란 외부의 형식 온톨로지 또는 용어 시스템이 될 수 있다. 이 연구에서는 ICD-10과 FMA를 외부의 용어로 사용하였다. 따라서, FMA의 치아 해부학적 구조와 ICD-10의 치과 질병/증상 개념은 TPSS 온톨로지에 포함된 개념과 정확히 일치하며, 재사용되고 있다. TPSS 온톨로지는 계속적으로 개선 및 확장 중이므로, 치과보철 치료외의 다른 분야에서도 재사용할 수 있을 것이다.

둘째, 온톨로지를 기반으로한 치과보철 치료대안의 제시는 의사의 임상 선호도를 반영할 수 있다. 임상 선호도는 환자가 만나는 그 의사가 진료를 담당하기 때문에 중요하다. 임상 선호도가 치아 우식증 치료에 대한 임상 의사 결정 모델의 한 부분으로서 필요하다는 연구도 있다 [85]. 의사마다 개별화된 임상 선호도는 치료 대안의 변화를 가져온다. 예를 들어, 어떤 치과의사는 신경치료가 수반되지 않은 전치부의 보철 수복은 금속이 없는 보철물 (metal-free restoration)로 치료해야 심미적인 결과를 얻는다고 믿을 수 있다. 이 치과 의사는 이런 조건의 환자에게 금속이 없는 보철물을 권할 것이다. 이런 개별화된 치료 대안은 지식 베이스가 온톨로지로 구성되어 있으면 손쉽게 변경이 가능하다. 구체적으로, 금속이 없는 보철물의 개념을 전치부의 치아 클래스와 연결하고, 치수염 질병 클래스와는 not 연산자를 이용하여 연결한다면 원하는

추론 결과를 손쉽게 얻을 수 있다. 결국 온톨로지 기반으로 지식 베이스를 구축하는 것은 의사에게 맞춤 치료계획을 제공하여 의사의 요구를 만족시킬 수 있을 것이다.

셋째, 온톨로지를 기반으로한 임상 지식의 명세화는 확장 가능성의 장점을 가진다. 최신의 임상 지식을 온톨로지를 기반으로한 지식 베이스 시스템에 손쉽게 추가할 수 있으며, 이 시스템을 활용하는 임상현장에 곧바로 반영할 수 있다. 반면 고정된 형식의 일반적인 임상 지식 (예를 들어, 교과서, 저널, 강의와 같은 형태)은 지식의 변화를 추가하거나, 삭제하는 일을 곧바로 임상현장으로 전달하기 어렵다. 여러 기존 연구 [74,86-88]에서도 온톨로지를 기반으로 한 임상 지식의 명세화는 재사용성, 관리의 용이성, 변경 및 추가의 용이성 등의 장점을 보인다고 하였다. 이 연구에 포함된 임상 지식이 치과보철 치료에 대한 모든 것을 포괄하고 있지는 않지만, 이 시스템의 지식 베이스가 온톨로지를 기반으로 작성되어 있으므로 외부의 임상 지식을 손쉽게 추가하여 확장할 수 있다. 따라서, 임상 지식이 발전함에 따라 이 시스템의 근거중심 보철치료 대안이 정교화될 것이다.

개별화와 확장성은 이 시스템의 온톨로지를 강건하게 만든다. 이런 동적인 온톨로지 지식 베이스를 기반으로한 의사결정 지원시스템은 진화가능한 이점을 가진다. 따라서, 환자에게 가장 적합하고, 최신의 치과보철 치료대안들을 제시할 수 있을 것이다. 이렇게 제시된 대안들 중에서 환자의 선호도를 고려하여 공유의사결정을 내린다면 환자와 의사 모두 만족스런 결과를 얻을 수 있을 것이다.

방법론적인 측면에서, AHP 방법을 이용하여 환자 선호도를 측정하고 분석한 것은 다음과 같은 시사점을 갖는다. 첫째, 쌍대비교를 통해 환자 선호

도를 명확하게 이끌어낼 수 있다는 점이다. 선호도는 환자 자신도 정확히 무엇을 원하는지 모를 수 있고, 의사는 환자 선호도가 무엇인지 정확히 파악하기 어려울 수 있다. 임상 의사결정을 내리는데 복수의 기준을 요구하기 때문이다. 예를 들면, 치과보철 치료에서는 심미적이고, 수명이 긴 치료 방법이 저렴하고 빠르게 완성되면 좋겠다고 생각할 수 있다. 복수의 기준이 생기고, 그 기준들 간의 절충(trade-off)이 필요한 경우는 환자 선호도를 명확히 파악하기 힘들다. 따라서, 복수의 기준을 두개씩만 비교하여 계층화한다면 훨씬 손쉬울 것이다. 대개 두개 중의 하나의 중요도를 고르는 문제는 쉽게 느끼기 때문이다. AHP 방법은 쌍대비교를 통해 기준들 간의 중요도를 계산할 수 있는 수학적인 토대를 제공한다. 결국 복수의 기준을 가진 환자 선호도를 측정하는데 AHP 방법이 적절한 도구가 될 것이다.

둘째, AHP 방법은 환자 선호도와 같은 정성적인 데이터를 수학적으로 분석할 수 있도록 도와준다. 쌍대비교를 통한 행렬에서 도출할 수 있는 최대의 고유벡터를 기준과 대안의 중요도로 간주하고, 각 중요도 행렬의 곱으로 최종 목표에 대한 대안의 중요도를 산출하는 과정이 이해하기 쉽고, 수학적으로도 강건하다.

방법론적인 측면에서, 온톨로지와 AHP 방법을 통합한 시스템은 개발의 유연성을 가진다. 이 연구의 시스템은 온톨로지를 이용하여 지식 베이스를 구축하고, AHP 방법으로 추론 엔진을 따로 개발하였다. 지식 베이스와 추론 엔진이 분리되지 않으면 시스템의 유지 보수 및 관리가 어려워진다 [6]. 시스템이 모듈화되면 전체의 수정 없이 지식의 획득 및 관리가 이루어질 수 있다. 예를 들어, AHP 방법에서 기준 요소와 대안의 추가 및 삭제는 온톨로지 기반의 지식 베이스에서 이루어지기 때문에 시스템의 전반적인 수정이 필요없는 것이다. 시스템의 추론 엔진은 지식베이스의 질의결과를 가져오고, AHP 방법의

수학적인 계산을 수행한다. 결국 AHP 방법의 계층 구조를 변화시키는데 온톨로지를 사용하고, 온톨로지의 변화에 따라 AHP 방법의 수학적인 계산이 이루어지는 유기적인 통합을 이룰 수 있었다.

실무적인 측면에서, 이 시스템은 사용자 (환자와 의사)에게 정보를 시각적으로 표현하여 의사결정을 도와준다. 환자의 쌍대비교 과정에서 슬라이더 인터페이스를 사용하여 직관적으로 선호도를 입력하도록 하였다. 환자의 구강 내 질병과 증상을 의사가 쉽게 파악할 수 있도록 치아에 아이콘을 배치하고, 상실치아의 경우 흐리게 표현하였다. 구강내 질병과 증상은 트리 구조로 배치하여 의사가 쉽게 검색하고 선택할 수 있도록 하였다. AHP 방법에 따른 대안의 중요도를 막대 그래프 형태로 표현하여 한 눈에 알아볼 수 있도록 하였다. 위의 모든 과정이 화면의 이동 없이 한 화면에서 입출력이 되도록 고안하여, 즉각적인 수정이 가능하고 한 눈에 파악할 수 있도록 하였다. 결국 시각적인 정보의 표현이 효율적인 의사결정을 도울 수 있을 것이다.

이 연구의 제한점을 크게 2가지 측면에서 살펴보고자 한다: 1) 각 임상 사례에서 도출되는 치료 대안의 수; 2) AHP 방법에서 사용되는 환자 선호도의 측정 문제.

첫째, 이 연구에서는 단순히 2가지 매개변수 (질병과 위치)로만 치과보철치료의 대안을 도출한다. 이 2가지 매개변수가 언뜻 충분해 보이지만, 생성된 치료의 대안이 간혹 너무 많이 사용자 (환자와 의사)에게 보여진다. 따라서, 치료 대안을 도출하는 과정의 개선이 필요하다. 한가지 가능한 해결책은 질병의 중증도와 치료의 예후와 같은 매개변수를 부가하여, 사용자에게 제시되는 치료 대안의 수를 다루기 쉬운 정도로 제한하는 것이다. 환자의 질병에 대한 자세한 입력이 치료 대안의 출력을 정교화할 수 있다.

둘째, 환자의 선호도는 모든 임상 사례의 경우에 고정적이거나, 일관적이지는 않다는 것이다. 이는 AHP 방법을 의학 분야에 적용하는 경우에 항상 직면하는 문제이다 [50]. 환자는 일반적으로 경제적인 가치를 우선적으로 추구할 수 있으나, 그 질병이 심각하거나 응급한 경우에는 값이 싸다는 이유만으로 치료방법을 선택하지는 않을 것이다. 그러므로, 만족스런 치료대안을 찾는 데 이미 결정된 선호도를 사용하는 것은 좋은 선택이라고 볼 수는 없다. 이 문제를 부분적으로 해결하기 위해서, 이 연구에서는 환자의 선호도 변화에 상호작용할 수 있는 유저 인터페이스를 구현하였으나 완벽한 해결책이라고 할 수는 없다.

6. 결론

이 연구는 온톨로지와 AHP 방법을 기반으로 치과보철 치료에 대한 공유의사결정 지원 시스템의 개발과 그 효과를 보여주었다. 임상 의사결정 지원 시스템에 온톨로지를 적용함으로써, 도메인 지식이 쉽게 조직화, 구조화, 실행 가능한 형태로 변환될 수 있었다. AHP 방법은 환자 선호도를 일관적이고 강건하게 계층화시키고, 그 측정을 가능하게 만들었다. 온톨로지를 기반으로한 근거 중심 치과보철 치료대안들에 대한 환자 선호도의 우선순위 정렬은 공유의사결정을 위한 중요한 수단이 되었다. 특히, 웹 어플리케이션의 형태로 개발된 이 시스템은 환자와 의사간의 상호작용을 가능케하고, 시각적으로 뛰어나며, 접근성이 뛰어난 장점을 가졌다.

이 연구를 발전시켜, 향후 연구에 대한 제안을 한다면 다음과 같다. 치과보철 치료분야에만 국한하지 않고 다양한 치과 치료분야로 넓힌다면, 일반적인 공유의사결정의 장(場)이 될 수 있을 것이다. 이 목적을 달성하기 위해, 온톨로지의 구조화 및 형식화가 좀더 정교하게 이루어져야 할 것이다. 더불어, 치과 전반에 관한 온톨로지의 개발과 발전이 있어야 할 것이다. 이는 치과분야에서의 진단, 치료, 용어, 해부학적 구조, 환자의 용어 등이 포함될 것이다. 한편, 이 연구에서는 공유의사결정의 수학적 방법론으로 AHP 방법을 선택하였지만, 환자의 선호도를 측정, 평가할 수 있는 다른 방법론을 검토하여 연구할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Charles C, Gafni A, Whelan T (1997) Shared decision-making in the medical encounter: what does it mean? (or it takes at least two to tango). *Soc Sci Med* 44 (5):681-692
2. Stewart MA (1995) Effective physician-patient communication and health outcomes: a review. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne* 152 (9):1423-1433
3. Crawford MJ, Rutter D, Manley C, Weaver T, Bhui K, Fulop N, Tyrer P (2002) Systematic review of involving patients in the planning and development of health care. *BMJ* 325 (7375):1263
4. Gravel K, Légaré F, Graham ID (2006) Barriers and facilitators to implementing shared decision-making in clinical practice: a systematic review of health professionals' perceptions. *Implementation science : IS* 1:16. doi:10.1186/1748-5908-1-16
5. Elwyn G, Laitner S, Coulter A, Walker E, Watson P, Thomson R (2010) Implementing shared decision making in the NHS. *BMJ* 341:c5146. doi:10.1136/bmj.c5146
6. Musen MA (2001) Clinical Decision-Support Systems. In: Shortliffe E, Perreault L, Wiederhold G, Fagan L (eds) *Medical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine*. 2nd edn. Springer-Berlag, New York, pp 573-609
7. Brennan PF, Strombom I (1998) Improving health care by understanding patient preferences: the role of computer technology. *J Am Med Inform Assoc* 5 (3): 257-262
8. GRUBER T (1993) A TRANSLATION APPROACH TO PORTABLE ONTOLOGY SPECIFICATIONS. *Knowl Acquis* 5 (2):199-220
9. Saaty T (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*
10. Liberatore MJ, Nydick RL (2008) The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal Of Operational Research* 189 (1):194-207
11. Shortliffe E, Perreault L, Wiederhold G, Fagan L (2001) *Medical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York

12. Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice (2006). Springer, New York, NY
13. Greenes RA (2007) Clinical Decision Support: The Road Ahead. Elsevier inc.,
14. White SC (1996) Decision-support systems in dentistry. *J Dent Educ* 60 (1):47-63
15. Brickley M, Shepherd J (1996) Performance of a neural network trained to make third-molar treatment-planning decisions. *Med Decis Making* 16 (2):153-160
16. Mago VK, Bhatia N, Bhatia A, Mago A (2012) Clinical decision support system for dental treatment. *Journal of Computational Science* 3 (5):254-261. doi:10.1016/j.jocs.2012.01.008
17. Tamaki Y, Nomura Y, Katsumura S, Okada A, Yamada H, Tsuge S, Kadoma Y, Hanada N (2009) Construction of a dental caries prediction model by data mining. *Journal of oral science* 51 (19325201):61-68. doi:papers://8CADF66E-23CF-46BF-8F18-74F492FFAA6D/Paper/p938
18. Suebnukarn S, Rungcharoenporn N, Sangsuratham S (2008) A Bayesian decision support model for assessment of endodontic treatment outcome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 106 (3):e48-58. doi:10.1016/j.tripleo.2008.05.011
19. Kavitha MS, Asano A, Taguchi A, Kurita T, Sanada M (2012) Diagnosis of osteoporosis from dental panoramic radiographs using the support vector machine method in a computer-aided system. *BMC medical imaging* 12:1. doi:10.1186/1471-2342-12-1
20. Bruins HH, Koole R, Jolly DE (1998) Pretherapy dental decisions in patients with head and neck cancer. A proposed model for dental decision support. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 86 (3):256-267
21. Szasz TS, Hollender MH (1956) A contribution to the philosophy of medicine; the basic models of the doctor-patient relationship. *AMA archives of internal medicine* 97 (5):585-592
22. Fenton WS (2003) Shared decision making: a model for the physician-patient relationship in the 21st century? *Acta psychiatrica Scandinavica* 107 (6):401-402
23. Frosch DL, Kaplan RM (1999) Shared decision making in clinical medicine: past research and future directions. *American journal of preventive medicine* 17 (4):285-294

24. Levine MN, Gafni A, Markham B, MacFarlane D (1992) A bedside decision instrument to elicit a patient's preference concerning adjuvant chemotherapy for breast cancer. *Annals of internal medicine* 117 (1):53-58
25. Whelan T, Sawka C, Levine M, Gafni A, Reyno L, Willan A, Julian J, Dent S, Abu-Zahra H, Chouinard E, Tozer R, Pritchard K, Bodendorfer I (2003) Helping patients make informed choices: a randomized trial of a decision aid for adjuvant chemotherapy in lymph node-negative breast cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 95 (8):581-587
26. Murray E, Davis H, Tai SS, Coulter A, Gray A, Haines A (2001) Randomised controlled trial of an interactive multimedia decision aid on benign prostatic hypertrophy in primary care. *BMJ* 323 (7311):493-496
27. Johnson BR, Schwartz A, Goldberg J, Koerber A (2006) A chairside aid for shared decision making in dentistry: a randomized controlled trial. *Journal of dental education* 70 (2):133-141
28. Say RE, Thomson R (2003) The importance of patient preferences in treatment decisions--challenges for doctors. *BMJ* 327 (7414):542-545. doi:10.1136/bmj.327.7414.542
29. Ashburner M, Ball CA, Blake JA, Botstein D, Butler H, Cherry JM, Davis AP, Dolinski K, Dwight SS, Eppig JT, Harris MA, Hill DP, Issel-Tarver L, Kasarskis A, Lewis S, Matese JC, Richardson JE, Ringwald M, Rubin GM, Sherlock G (2000) Gene ontology: tool for the unification of biology. The Gene Ontology Consortium. *Nature genetics* 25 (1):25-29. doi:10.1038/75556
30. Rosse C, Mejino JLV (2003) A reference ontology for biomedical informatics: the Foundational Model of Anatomy. *Journal of biomedical informatics* 36 (6): 478-500. doi:10.1016/j.jbi.2003.11.007
31. Park SG, Kim H-G (2006) Dental decision making on missing tooth represented in an ontology and rules. *Lect Notes Comput Sc* 4185:322-328
32. Park SG, Kim H-G, Kim M-K (2007) Tooth Positional Ontology Represented in OWL. In: *Medinfo 2007: Proceedings of the 12th World CONgress on Health (Medical) Informatics; Building Sustainable Health Systems*:2288-2289
33. Park SG, Lee S, Kim MK, Kim HG (2010) The Use of Ontology in Dental Restorative Treatment Decision Support System. *Proceeding of the 2010 conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010)*:172-181

34. Bogdan CM (2011) Domain Ontology of the VirDenT System. *International Journal of Computers Communications & Control* 6 (1):45-52
35. Ai J, Smith B, David WT (2010) Saliva Ontology: an ontology-based framework for a Salivaomics Knowledge Base. *BMC Bioinformatics* 11:302. doi: 10.1186/1471-2105-11-302
36. Nixdorf DR, Drangsholt MT, Ettlin DA, Gaul C, De Leeuw R, Svensson P, Zakrzewska JM, De Laat A, Ceusters W (2012) Classifying orofacial pains: a new proposal of taxonomy based on ontology. *Journal of oral rehabilitation* 39 (3):161-169. doi:10.1111/j.1365-2842.2011.02247.x
37. Bittner T, Goldberg LJ (2007) The qualitative and time-dependent character of spatial relations in biomedical ontologies. *Bioinformatics* 23 (13):1674-1682. doi: 10.1093/bioinformatics/btm155
38. Smart PR, Sadraie M (2012) Applications and Uses of Dental Ontologies. Paper presented at the e-Society, March 7-10, 2012
39. Goldberg LJ, Ceusters W, Eisner J, Smith B (2005) The Significance of SNODENT. *Stud Health Technol Inform* 116:737-742
40. Kalenderian E, Ramoni RL, White JM, Schoonheim-Klein ME, Stark PC, Kimmes NS, Zeller GG, Willis GP, Walji MF (2011) The development of a dental diagnostic terminology. *J Dent Educ* 75 (1):68-76
41. Bodenreider O, Stevens R (2006) Bio-ontologies: current trends and future directions. *Brief Bioinform* 7 (3):256-274. doi:10.1093/bib/bbl027
42. Bodenreider O (2008) Biomedical ontologies in action: role in knowledge management, data integration and decision support. *Yearbook of medical informatics*:67-79
43. Farion K, Michalowski W, Wilk S, O'Sullivan D, Rubin S, Weiss D (2009) Clinical decision support system for point of care use--ontology-driven design and software implementation. *Methods of information in medicine* 48 (19448882): 381-390. doi:papers://8CADF66E-23CF-46BF-8F18-74F492FFAA6D/Paper/p1263
44. Rubin DL, Dameron O, Bashir Y, Grossman D, Dev P, Musen MA (2006) Using ontologies linked with geometric models to reason about penetrating injuries. *Artif Intell Med* 37 (3):167-176. doi:10.1016/j.artmed.2006.03.006

45. Riano D, Real F, Lopez-Vallverdu JA, Campana F, Ercolani S, Mecocci P, Annicchiarico R, Caltagirone C (2012) An ontology-based personalization of health-care knowledge to support clinical decisions for chronically ill patients. *J Biomed Inform* 45 (3):429-446. doi:10.1016/j.jbi.2011.12.008
46. Mabotuwana T, Warren J (2009) An ontology-based approach to enhance querying capabilities of general practice medicine for better management of hypertension. *Artif Intell Med* 47 (2):87-103. doi:10.1016/j.artmed.2009.07.001
47. Rector A, Brandt S, Drummond N, Horridge M, Pulestin C, Stevens R (2012) Engineering use cases for modular development of ontologies in OWL. *Appl Ontol* 7 (2):113-132
48. OWL 2 Web Ontology Language document overview. <http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-overview-20091027/>.
49. Saaty T (2008) Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process. *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)* 102 (2):251-318
50. Dolan JG (2008) Shared decision-making--transferring research into practice: the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Patient Educ Couns* 73 (3):418-425. doi:10.1016/j.pec.2008.07.032
51. Hsu T-H, Pan FFC (2009) Application of Monte Carlo AHP in ranking dental quality attributes. *Expert Syst Appl* 36 (2):2310-2316. doi:10.1016/j.eswa.2007.12.023
52. Dolan J (2000) Involving patients in decisions regarding preventive health interventions using the analytic hierarchy process. *Health expectations : an international journal of public participation in health care and health policy* 3 (1): 37-45
53. Singpurwalla N, Forman E, Zalkind D (1999) Promoting shared health care decision making using the analytic hierarchy process. *Socio-Economic Planning Sciences* 33 (4):277–299
54. Richman MB, Forman EH, Bayazit Y, Einstein DB, Resnick MI, Stovsky MD (2005) A novel computer based expert decision making model for prostate cancer disease management. *The Journal of urology* 174 (6):2310-2318. doi:10.1097/01.ju.0000181829.07078.22

55. Liberatore M, Myers R, Nydick R, Steinberg M, Brown E, Gay R, Powell T, Powell R (2003) Decision counseling for men considering prostate cancer screening. *Computers & Operations Research* 30 (10):1421-1434
56. Espelid I, Cairns J, Askildsen JE, Qvist V, Gaarden T, Tveit AB (2006) Preferences over dental restorative materials among young patients and dental professionals. *European journal of oral sciences* 114 (1):15-21. doi:10.1111/j.1600-0722.2006.00282.x
57. Vidnes-Kopperud S, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I (2009) Factors influencing dentists' choice of amalgam and tooth-colored restorative materials for Class II preparations in younger patients. *SODE* 67 (2):74-79. doi: 10.1080/00016350802577800
58. Noy N, McGuinness D (2001) *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. Knowledge Systems Laboratory:01-05
59. Grenon P, Smith B, Goldberg L (2004) Biodynamic ontology: applying BFO in the biomedical domain. *Stud Health Technol Inform* 102:20-38
60. Ceusters W, Smith B (2006) Referent tracking for treatment optimisation in schizophrenic patients: A case study in applying philosophical ontology to diagnostic algorithms. *J Web Semant* 4 (3):229-236. doi:10.1016/j.websem.2006.05.002
61. Zhang S, Bodenreider O, Golbreich C (2006) Experience in reasoning with the foundational model of anatomy in OWL DL. *Pac Symp Biocomput*:200-211
62. Dameron O, Rubin DL, Musen MA (2005) Challenges in converting frame-based ontology into OWL: the Foundational Model of Anatomy case-study. *AMIA Annu Symp Proc*:181-185. doi:58813 [pii]
63. Golbreich C, Zhang S, Bodenreider O (2006) The foundational model of anatomy in OWL: Experience and perspectives. *Web Semant* 4 (3):181-195. doi:10.1016/j.websem.2006.05.007
64. Smith B, Ceusters W, Klagges B, Köhler J, Kumar A, Lomax J, Mungall C, Neuhaus F, Rector AL, Rosse C (2005) Relations in biomedical ontologies. *Genome Biol* 6 (5):R46. doi:10.1186/gb-2005-6-5-r46
65. Schulz S, Markó K, Hahn U (2007) Spatial location and its relevance for terminological inferences in bio-ontologies. *BMC Bioinformatics* 8:134. doi: 10.1186/1471-2105-8-134

66. Protege Ontology Editor. <http://protege.stanford.edu>.
67. PatelSchneider P (1991) What's inheritance got to do with knowledge representation. portal.acm.org
68. Schulz S, Hahn U (2005) Part-whole representation and reasoning in formal biomedical ontologies. *Artif Intell Med* 34 (3):179-200. doi:10.1016/j.artmed.2004.11.005
69. Schulz S, Romacker M, Hahn U (1998) Part-whole reasoning in medical ontologies revisited--introducing SEP triplets into classification-based description logics. *Proc AMIA Symp*:830-834
70. Patel VL, Allen VG, Arocha JF, Shortliffe EH (1998) Representing clinical guidelines in GLIF: individual and collaborative expertise. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 5 (5):467-483
71. Musen MA, Tu SW, Das AK, Shahar Y (1996) EON: a component-based approach to automation of protocol-directed therapy. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 3 (6):367-388
72. Tu SW, Campbell JR, Glasgow J, Nyman MA, McClure R, McClay J, Parker C, Hrabak KM, Berg D, Weida T, Mansfield JG, Musen MA, Abarbanel RM (2007) The SAGE Guideline Model: achievements and overview. *J Am Med Inform Assoc* 14 (5):589-598. doi:10.1197/jamia.M2399
73. Sutton DR, Fox J (2003) The syntax and semantics of the PROforma guideline modeling language. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 10 (5):433-443. doi:10.1197/jamia.M1264
74. Casteleiro MA, Diz JJD (2008) Clinical practice guidelines: A case study of combining OWL-S, OWL, and SWRL. *Knowledge-Based Systems* 21 (3): 247-255. doi:10.1016/j.knsys.2007.11.008
75. Ye Y, Jiang Z, Diao X, Yang D, Du G (2009) An ontology-based hierarchical semantic modeling approach to clinical pathway workflows. *Computers in biology and medicine* 39 (19539278):722-732. doi:papers://8CADF66E-23CF-46BF-8F18-74F492FFAA6D/Paper/p1
76. Podgorelec V, Grasic B, Pavlic L (2009) Medical diagnostic process optimization through the semantic integration of data resources. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 95 (2 Suppl):S55-67. doi:10.1016/j.cmpb.2009.02.015

77. Ongenae F, De Backere F, Steurbaut K, Colpaert K, Kerckhove W, Decruyenaere J, De Turck F (2010) Towards computerizing intensive care sedation guidelines: design of a rule-based architecture for automated execution of clinical guidelines. *BMC Med Inform Decis Mak* 10:3. doi:10.1186/1472-6947-10-3
78. Hall WB (1998) *Decision making in dental treatment planning*. Mosby,
79. Ceusters W, Elkin P, Smith B (2007) Negative findings in electronic health records and biomedical ontologies: a realist approach. *International journal of medical informatics* 76 Suppl 3 (17369081):S326-333. doi:papers://8CADF66E-23CF-46BF-8F18-74F492FFAA6D/Paper/p84
80. Rector AL, N D, Horridge M, Rogers J, Knublauch H, Stevens R, Wang H, Wroe C OWL pizzas: practical experience of teaching OWL-DL: common errors & common patterns. In: *EKAU 2004*, Whittlebury Hall, UK, 2004. Springer, pp 63-81
81. Kotler P, Clarke RN (1986) *Marketing for health care organizations*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
82. Woodside AG, Nielsen RL, Walters F, Muller GD (1988) Preference segmentation of health care services: the old-fashioned, value conscious, affluent and professional want-it-alls. *J Health Care Mark* 8 (2):14-24
83. Horridge M, Bechhofer S The OWL API: A Java API for Working with OWL 2 Ontologies. In: *Hoekstra R, Patel-Schneider PF (eds) OWLED 2009, 6th OWL Experienced and Directions Workshop*, Chantilly, VA, United States, Oct 23-24 2009.
84. O'Connor AM, Legare F, Stacey D (2003) Risk communication in practice: the contribution of decision aids. *BMJ* 327 (7417):736-740. doi:10.1136/bmj.327.7417.736
85. White BA, Maupomé G (2001) Clinical decision-making for dental caries management. *Journal of dental education* 65 (10):1121-1125
86. Abidi S, Shayegani S (2009) Modeling the form and function of clinical practice guidelines: An ontological model to computerize clinical practice guidelines. *Knowledge Management for Health Care Procedures*:81-91
87. Kaiser K, Seyfang A, Miksch S, ten Teije A, Riano D, Peleg M, Miksch S (2010) Identifying Actions Described in Clinical Practice Guidelines Using Semantic Relations}. *Proc of the KR4HC 2010-2nd International Workshop on Knowledge*

Representation for Health-Care in conjunction with the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2010)}

88. Chen CC, Chen K, Hsu C-Y, Li Y-CJ (2010) Developing guideline-based decision support systems using protégé and jess. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. doi:10.1016/j.cmpb.2010.05.010

부록

어플리케이션의 메인 소스

```
public class TPSSManager {

    public static String PATH;
    public static String LOGICAL_URI = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/4/";
    public static String KDC_URI = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/5/KCD\_Dent.owl";
    public static String MergedToothMedinfo_URI = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/4/Merged\_Tooth\_Medinfo07\_FMA3.owl";
    public static String Unnamed_URI = "http://www.owl-ontologies.com/unnamed.owl";
    public static String TxOption_URI = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/4/TxOption.owl";
    public static String Tpss_URI = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/4/TPSS.owl";

    private OWLOntologyManager manager = null;
    private OWLDataFactory dataFactory = null;
    private OWLOntology tpssOntology = null;
    private OWLReasoner reasoner = null;
    private DLQueryEngine dlQueryEngine;

    private static class TPSSManagerGenerator {
        public static TPSSManager tpssManager = new TPSSManager();
    }

    public static TPSSManager getInstance() {
        return TPSSManagerGenerator.tpssManager;
    }

    private TPSSManager() {
        try {
            ResourceBundle bundle = ResourceBundle.getBundle("server");
            TPSSManager.PATH = bundle.getString("path");
            String owlFileName = bundle.getString
("owlFileName");

            manager = OWLManager.createOWLOntologyManager();
            dataFactory = manager.getOWLDataFactory();
            File ontFile = new File(TPSSManager.PATH + owlFileName);

            SimpleIRIMapper mapper1 = new SimpleIRIMapper(IRI
                .create(TxOption_URI), IRI.create("file:" +
TPSSManager.PATH + "TxOption.owl"));
            manager.addIRIMapper(mapper1);

            SimpleIRIMapper mapper2 = new SimpleIRIMapper(IRI.create
(KDC_URI),
                IRI.create("file:" + TPSSManager.PATH +
"KCD_Dent_Organized.owl"));
            manager.addIRIMapper(mapper2);

            tpssOntology = manager.loadOntologyFromOntologyDocument
(ontFile);
        }
    }
}
```

```

    OWLReasonerFactory re = new FaCTPlusPlusReasonerFactory
());

        reasoner = re.createReasoner(tpssOntology);
        reasoner.precomputeInferences();

        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }

    public OWLOntology getOntology() {
        return tpssOntology;
    }

    public OWLReasoner getTPSSReasoner(){
        return reasoner;
    }

    public OWLClass getPatientClass() {
        OWLClass patientClass = null;

        if (tpssOntology == null)
            throw new NullPointerException("ontology is null");

        if (dataFactory == null)
            throw new NullPointerException("dataFactory is null");

        OWLClass tempPatientCls = dataFactory.getOWLClass(IRI.create
(tpssOntology.getOntologyID().toString().substring(1, tpssOntology.getOntologyID
().toString().length()-1) + "#Patient"));
        for (OWLClass cls : tpssOntology.getClassesInSignature()) {
            String temp1 = tempPatientCls.getIRI().toString();
            temp1 = temp1.substring(temp1.indexOf("#") + 1);

            String temp2 = cls.getIRI().toString();
            temp2 = temp2.substring(temp2.indexOf("#") + 1);
        }
        return patientClass;
    }

    public OWLClass getClass(String className) {

        if (tpssOntology == null)
            throw new NullPointerException("ontology is null");

        if (dataFactory == null)
            throw new NullPointerException("dataFactory is null");

        Set<OWLOntology> importsClosure = tpssOntology.getImportsClosure();
        ShortFormProvider shortFormProvider = new SimpleShortFormProvider();
        BidirectionalShortFormProvider bidiShortFormProvider = new
BidirectionalShortFormProviderAdapter(manager, importsClosure, shortFormProvider);
        OWLClass ret = dataFactory.getOWLClass(bidiShortFormProvider.getEntity
(className).getIRI());

        shortFormProvider = null;
        importsClosure = null;
        bidiShortFormProvider = null;

        return ret;
    }

```

```

    }

    public Collection<OWLClass> getToothClasses() {

        Collection<OWLClass> arrayList = new ArrayList<OWLClass>();
        for (OWLClass cls : tpssOntology.getClassesInSignature()) {

            String toothClassURI = cls.getIRI().toString();
            String name = toothClassURI.substring( toothClassURI.indexOf
("##") + 1 );

            if (name.toString().indexOf("No") == 0
                && name.toString().length() == 4) {
                arrayList.add(cls);
            }
        }
        return arrayList;
    }

    public Set<OWLClass> getSubClasses(String dlQuery, OWLReasoner reasoner) {
        Set<OWLClass> subClasses = null;
        ShortFormProvider shortFormProvider = new SimpleShortFormProvider();

        dlQueryEngine = new DLQueryEngine(reasoner, shortFormProvider);
        try {
            if (dlQuery != null)
                subClasses = dlQueryEngine.getSubClasses(dlQuery,
true);
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return subClasses;
    }

    public Set<OWLClass> getSubClasses(String dlQuery) {
        Set<OWLClass> subClasses = null;
        ShortFormProvider shortFormProvider = new SimpleShortFormProvider();
        dlQueryEngine = new DLQueryEngine(reasoner, shortFormProvider);
        try {
            if (dlQuery != null)
                subClasses = dlQueryEngine.getSubClasses(dlQuery,
false);
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return subClasses;
    }

    public Set<OWLClass> getDescendantClasses(String dlQuery, OWLReasoner
reasoner) {
        Set<OWLClass> subClasses = null;
        ShortFormProvider shortFormProvider = new SimpleShortFormProvider();

        dlQueryEngine = new DLQueryEngine(reasoner, shortFormProvider);
        try {
            if (dlQuery != null){
                subClasses = dlQueryEngine.getSubClasses(dlQuery,
false);
            }
        }
    }

```

```

        subClasses.remove(reasoner.getBottomClassNode());

    }
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    return subClasses;
}

public Set<OWLClass> getSuperClasses(String dlQuery, OWLReasoner reasoner) {
    Set<OWLClass> superClasses = null;
    ShortFormProvider shortFormProvider = new SimpleShortFormProvider();
    dlQueryEngine = new DLQueryEngine(reasoner, shortFormProvider);
    try {
        if (dlQuery != null)
            superClasses = dlQueryEngine.getSuperClasses
(dlQuery, true);
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    return superClasses;
}

public Collection<String> getDiseaseName() {
    Collection<String> ret = new HashSet<String>();

    try {
        OWLEntityCheckerImpl checker = new OWLEntityCheckerImpl
(manager
                                .getOWLDDataFactory(), tpssOntology,
tpssOntology.getOntologyID().toString().substring(1, tpssOntology.getOntologyID
().toString().length()-1));

        OWLClassExpression desc = Util.parseDescription(manager,
checker,
                                "Disease_KCD");
        if (desc != null) {
            NodeSet<OWLClass> classes = reasoner.getSubClasses
(desc, true);

            for (Node<OWLClass> cc : classes) {
                for (OWLClass c : cc) {
                    String uri = c.getIRI().toString();
                    uri = uri.substring(uri.indexOf
("#") + 1);

                    ret.add(uri);
                }
            }

            classes = reasoner.getSubClasses(desc, false);
            for (Node<OWLClass> cc : classes) {
                for (OWLClass c : cc) {
                    String uri = c.getIRI().toString();
                    uri = uri.substring(uri.indexOf
("#") + 1);

                    ret.add(uri);
                }
            }
        }
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

```

```

        }
        return ret;
    }

    /**
     * @param arrClassName flex DataGrid class name
     * @param arrOptions slider legend (i-left , j-right, value-double)
     * @param AHPont main ontology
     * @return DataGrid의 각 individual(alternative)에 대한 AHP 결과
     */
    public ArrayList<Object> getAHPDatas(ArrayList<Object> arrClassName,
        ArrayList<Object> arrOptions, OWLOntology AHPont) {

        ArrayList<Object> ret = null;
        try{

            AnalyticHierarchyProcess ahp = new AnalyticHierarchyProcess();
            ArrayList<OWLClass> arrayClass = new ArrayList<OWLClass>();

            for (Object className : arrClassName) {
                OWLClass owlClass = getClass(className.toString());
                if (owlClass != null) {
                    arrayClass.add(owlClass);
                }
            }

            ahp.init(AHPont, arrayClass);

            for (int k = 0; k < arrOptions.size(); k++) {
                HashMap<String, Object> hashMap = (HashMap<String, Object>)
arrOptions.get(k);

                //slider의 왼쪽 오른쪽 값이 무엇인지 찾기. 0=Esthetic, 1=Price,
2=Longevity, 3=NumberOfVisit
                //i : left value , j: right value,
                //value : slider 값. flex의 왼쪽 첫번째 칸부터
2,5,4,3,2,1,0.5,0.33,0.25,0.2
                int i = (Integer) hashMap.get("i");
                int j = (Integer) hashMap.get("j");
                double value = (Double) Double.parseDouble(hashMap.get
("value").toString());

                System.out.println("i: "+i+" j: "+j+" value: "+value);

                ahp.setCriteriaWeight(i, j, value);
            }

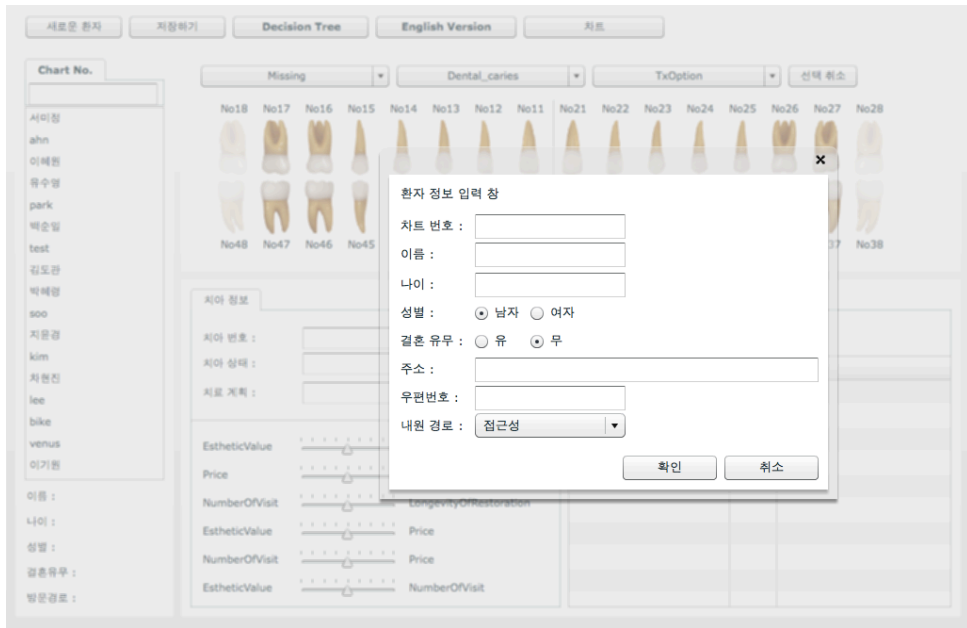
            ret = ahp.getDatas();

        }catch(Exception e){
            e.printStackTrace();
        }

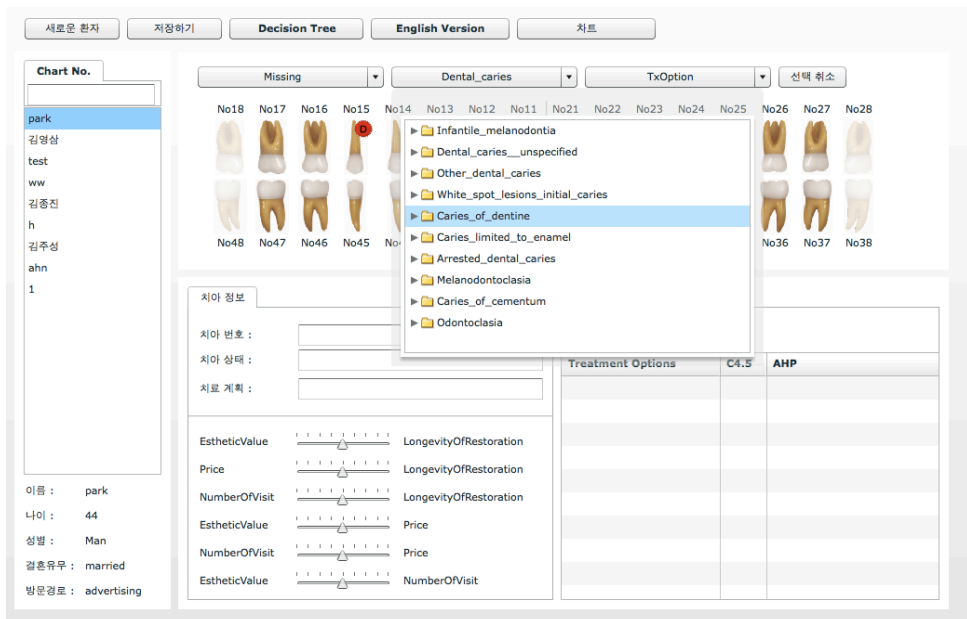
        return ret;
    }

}

```



환자 정보 입력 창



치아 우식증 세부 분류의 선택 화면

새로운 환자 저장하기 Decision Tree English Version 차트

Chart No. park 김명삼 test ww 김종진 h 김주성 ahn 1

Missing Dental_caries TxOption 선택 취소

No18 No17 No16 No15 No14 No13 No12 No11 No21 No22 No23 No24 No25 No26 No27 No28

No48 No47 No46 No45 No44 No43 No42 No41 No31

치아 정보

치아 번호 : No16

치아 상태 : Dental_caries

치료 계획 :

EstheticValue LongevityOfRestoration

Price LongevityOfRestoration

NumberOfVisit LongevityOfRestoration

EstheticValue Price

NumberOfVisit Price

EstheticValue NumberOfVisit

이름 : park

나이 : 44

성별 : Man

결혼유무 : married

방문경로 : advertising

Query

hasIndication some Dental_caries

locatedIn some No16

Treatment Options C4.5 AHP

Treatment Options	C4.5	AHP
CADCAM_Inlay/Onlay	0.00	7.71
PFMCrown	0.00	7.88
Porcelain_Inlay/Onlay	0.00	8.27
Resin_Inlay/Onlay	50.00	7.83
RecallCheck	0.00	0
MetalCrown	0.00	6.44
Observation	0.00	0
AmalgamRestoration	0.00	12.04
CompositeResinRestoration	0.00	13.21
Gold_Inlay/Onlay	n.n	7.99

기존에 치료된 부분을 선택하는 화면

새로운 환자 저장하기 Decision Tree English version 차트

Chart No. park 김명삼 test ww 김종진 h 김주성 ahn 1

Missing Dental_caries TxOption 선택 취소

No18 No17 No16 No15 No14 No13 No12 No11 No21 No22 No23 No24 No25 No26 No27 No28

No48 No47 No46 No45 No44 No43 No42 No41 No31 No32 No33 No34 No35 No36 No37 No38

치아 정보

치아 번호 : No16

치아 상태 : Dental_caries

치료 계획 : AmalgamRestoration

EstheticValue LongevityOfRestoration

Price LongevityOfRestoration

NumberOfVisit LongevityOfRestoration

EstheticValue Price

NumberOfVisit Price

EstheticValue NumberOfVisit

이름 : park

나이 : 44

성별 : Man

결혼유무 : married

방문경로 : advertising

Query

hasIndication some Dental_caries

locatedIn some No16

Treatment Options C4.5 AHP

Treatment Options	C4.5	AHP
GlassIonomerRestoration	0.00	15.26
AmalgamRestoration	0.00	15.2
CompositeResinRestoration	0.00	12.07
Porcelain_Inlay/Onlay	0.00	7.62
Gold_Inlay/Onlay	0.00	7.57
Resin_Inlay/Onlay	50.00	7.38
MetalCrown	0.00	7.34
PFMCrown	0.00	7.16
CADCAM_Inlay/Onlay	0.00	7.12
PFMCrown	0.00	6.75

아말감 수복 치료가 비교적 높은 가중치를 가진 사례

Abstract

Shared Decision Support System on Dental Restoration

Seon Gyu Park

Department of Dental Management and Informatics

The Graduate School

Seoul National University

Shared decision making (SDM) is an approach in which doctor-patient communication regarding available evidence and patient preferences is facilitated to enable the patient to participate in treatment decisions. SDM affords not only the inclusion of the ethical diversities involved in patient-centered care, but also the quality improvements in decision-making process. Though SDM has been studied extensively, there have been few practical implementations in real clinical environments. In this paper, we propose a shared decision-making system with its focus on dental restorative treatment planning. In our system, restorative treatment alternatives for SDM were generated by employing an ontology that had captured the clinical knowledge required for treatments. We considered patient preferences for treatment as an important support for mutual agreements between the patient and the doctor on healthcare decisions. We constructed a consistent and robust hierarchy of preferences using the analytic hierarchy process (AHP) method, to help determine treatment

priorities. On the basis of our proposed system, we developed a Web-based application for the visualization of evidence-based treatment recommendations with preference-based weights. We tested our system using a scenario to illustrate how doctors and patients can make shared decisions. The application is of high value in supporting SDM between doctors and patients, and expedites effective treatments and enhanced patient satisfaction.

.....

Keywords : Shared decision making, Ontology, AHP, Dental Restoration

Student Number : 2004-22647

감사의 글

무엇보다 치과의료정보학이란 학문의 길에 들어설 수 있도록 이끌어주신 김명기 교수님께 가장 감사드립니다. 온톨로지라는 학문을 소개해주시고, 영어 논문을 쓸 수 있도록 늘 격려해주신 김홍기 교수님께도 감사드립니다. 멀리 익산에서부터 기꺼이 올라와주시고, 저의 미래까지 같이 고민해주신 신호성 교수님, 언제나 밝은 모습으로 저의 연구 과정을 지켜봐주신 이재일 교수님, 논문종심에서 귀중한 코멘트를 주신 이승표 교수님께도 감사드립니다. 이 논문의 영어 부분을 세련되게 바꾸어주신 이성인 선생님, 물심 양면으로 논문 작성 과정의 행정 부분을 도와주신 이수경 선생님, 이 논문의 아이디어를 함께 고민해주신 최희철 선생님, java 코딩이 익숙지 않아 늘 질문을 해뒀지만 언제나 명쾌한 설명을 주셨던 안진현 선생님께도 감사드립니다. 이 논문의 ‘연구 배경’ 섹션의 수정 방향을 잡아준 형과 늘 바쁘지만 논문 작업을 격려해준 동생과 탈고의 기쁨을 나누고 싶습니다. 오랜 시간동안 이 논문 하나를 기다리셨을 사랑하는 아버지, 어머니와 논문 작성 기간동안 많은 배려를 해주신 장인, 장모님께도 감사드립니다. 마지막으로 저에겐 가장 소중한 와이프와 아들 준혁이에게 이 논문을 바칩니다.